

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Механіко-машинобудівний інститут**

**Кафедра конструювання машин**

До захисту допущено:

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр ОХРІМЕНКО

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи та  
технології формоутворення деталей»**

**спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

**на тему: «Свердло для оброблення отворів в композиційних матеріалах»**

Виконав (-ла):

студент 4 курсу, групи МІ-61

Дерновий Олександр Віталійович

\_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент, кандидат технічних наук

Івановський Олексій Анатолійович

\_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент, кандидат технічних наук

Івановський Олексій Анатолійович

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

| № з/п | Формат | Позначення         | Найменування   | Кількість листів | Примітка |
|-------|--------|--------------------|--|------------------|----------|
| 1     | A4     |                    | Завдання на дипломний проект                                       | 2                |          |
| 2     | A4     | ДП 6106. 00.000 ПЗ | Пояснювальна записка   | 129              |          |
| 3     | A1     | ДП 6106. 01.000 ТК | Синтез конструкції інструмента                                     | 1                |          |
| 4     | A1     | ДП 6106. 02.000 ТК | Конструкція спірального триперого свердла                          | 1                |          |
| 5     | A1     | ДП 6106. 03.000 ТК | Профілювання гвинтової стружкової канавки                          | 1                |          |
| 6     | A1     | ДП 6106. 04.000 ТК | Технологічні операції виготовлення корпусу свердла                 | 1                |          |
| 7     | A1     | ДП 6106. 05.000 ТК | Конструкція пристосування для шліфування гвинтових канавок свердла | 1                |          |
| 8     | A1     | ДП 6106. 06.000 ТК | Виготовлення на верстаті з ЧПК                                     | 1                |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |

|           |                  |       |      |   |  |  |
|-----------|------------------|-------|------|---|--|--|
|           |                  |       |      | ДП 6106 00.000.00   |  |  |
|           | ПІБ              | Підп. | Дата | Відомість дипломного проекту  |  |  |
| Розробн.  | Дерновий О.В.    |       |      |   |  |  |
| Керівн.   | Івановський О.А. |       |      |   |  |  |
| Консульт. |                  |       |      |   |  |  |
| Н/контр.  |                  |       |      |   |  |  |
| Зав.каф.  |                  |       |      | Лист 1 Листів 1<br>КПП ім. Ігоря Сікорського<br>Каф. ІТМ<br>Гр. МІ-61 |  |  |

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Свердло для оброблення отворів в  
композиційних матеріалах»**

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання машин**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи та технології формоутворення деталей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр ОХРИМЕНКО

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проєкт студенту**  
**Дернового Олександра Віталійовича**

1. Тема проєкту «Свердло для оброблення отворів в композиційних матеріалах», керівник проєкту Івановський Олексій Анатолійовиц, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проєкту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту

Оброблювана деталь – профіль склопластиковий

Діаметр отвору – 10 мм

4. Зміст пояснювальної записки

1. Синтез конструкції інструмента
2. Конструювання інструмента
3. Утворення гвинтової канавки інструмента
4. Технологія виготовлення свердла
5. Конструювання пристосування для шліфування гвинтових канавок свердла
6. Оброблення інструмента на верстаті з ЧПК

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)
1. Синтез конструкції інструмента
  2. Конструкція спірального триперого свердла
  3. Профілювання гвинтової стружкової канавки
  4. Технологічні операції виготовлення корпусу свердла
  5. Конструкція пристосування для шліфування гвинтових канавок свердла
  6. Виготовлення на верстаті з ЧПК

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проєкту                                       | Термін виконання етапів проєкту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1.    | Аналіз стану питання свердління композиційних матеріалів                        | 19.03.2020                      |          |
| 2.    | Проектування свредля для оброблення ВПКМ  | 10.04.2020                      |          |
| 3.    | Уточнення конструкції стружкових канавок свердла                                | 19.04.2020                      |          |
| 4.    | Синтез технолоічного процесу виготовлення деталей свердла                       | 10.05.2020                      |          |
| 5.    | Проектування технологічного оснащення для шліфування стружкових канавок свердла | 30.05.2020                      |          |
| 6.    | Оформлення пояснювальної записки  | 03.06.2020                      |          |
| 7.    | Представлення проєкту до захисту  | 10.06.2020                      |          |
|       |   |                                 |          |
|       |   |                                 |          |

Студент

Олександр ДЕРНОВИЙ

Керівник

Олексій ІВАНОВСЬКИЙ

## **АНОТАЦІЯ**

Робота присвячена конструюванню свердла для оброблення волокнистих полімерних композиційних матеріалів, розробленню технології та конструкторське забезпечення виробництва.

За результатами аналізу сучасних рішень в сфері інструментального виробництва було прийнято конструювати трипере свердло зі змінними непереточуваними твердосплавними головками з покриттям.

Розроблена технологія знаходження оптимального маршруту технологічного процесу для реалізації якого застосовано методи математичного моделювання та програмування.

В якості спеціальної частини було виконано профілювання стружкової канавки з утворенням криволінійної різальної кромки інструмента з метою створення ефекта підрізання волокон матеріала.

Як результат очікується підвищення працездатності інструмента, якості оброблюваних отворів, зменшення собівартості одного отвору у ВПКМ.

Ключові слова: свердло, змінна головка, твердий сплав, оптимізація технологічного процесу, композиційні матеріали, склопластик.

## **ABSTRACT**

The work is devoted to the design of the drill for processing fibrous polymer composite materials, technology development and design support of production.

Based on the results of the analysis of modern solutions in the field of tool production, it was decided to design a three-flute drill with replaceable non-grinding coated carbide heads.

The technology of finding the optimal route of the technological process for the implementation of which the methods of mathematical modelling and programming are applied is developed.

As a special part, the chip groove was profiled with the formation of a curved cutting edge of the tool in order to create the effect of cutting the fibres of the material.

As a result, it is expected to increase the efficiency of the tool, the quality of the machined holes, reduce the cost of one hole in FPCM.

Keywords: drill, replaceable head, hard alloy, technological process optimization, composite materials, fibreglass.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП .....  | 7  |
| 1 СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА.....  | 9  |
| 1.1 Аналіз стану питання.....  | 9  |
| 1.2 Аналіз існуючих рішень .....   | 12 |
| 2.3 Результати проведення аналізу.....                                     | 17 |
| 2 КОНСТРУЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТА.....   | 18 |
| 2.1 Вибір матеріалу різальної частини.....                                 | 18 |
| 2.2 Захисне покриття різальної частини інструмента .....                   | 20 |
| 2.3 Технічні вимоги до свердла, що проектується.....                       | 23 |
| 2.4 Конструкція свердла .....  | 24 |
| 2.4.1 Опис конструктивних елементів.....                                   | 24 |
| 2.4.2 Параметри інструмента.....   | 25 |
| 2.4.3 Розрахунок сили притискання змінної головки до корпусу свердла ..... | 25 |
| 3 УТВОРЕННЯ ГВИНТОВОЇ КАНАВКИ ІНСТРУМЕНТА.....                             | 29 |
| 3.1 Вихідні параметри: .....   | 29 |
| 3.2 Торцевий переріз свердла .....   | 29 |
| 3.2.1 Робоча ділянка стружкової канавки.....                               | 29 |
| 3.2.2 Неробоча ділянка стружкової канавки .....                            | 33 |
| 3.3. Установчі параметри деталь-інструмент.....                            | 35 |
| 3.4 Графічне профілювання .....  | 37 |
| 3.4.1 Границі стружкової канавки.....                                      | 37 |
| 3.4.2 Переріз гвинтової поверхні .....                                     | 38 |
| 3.4.3 Початкова інструментальна поверхня.....                              | 42 |
| 3.5 Аналітичне профілювання .....  | 43 |
| 3.5.1 Параметри торцевого перерізу свердла.....                            | 43 |
| 3.5.2 Знаходження початкової інструментальної поверхні .....               | 45 |
| 3.5.3 Корегування профілю початкової інструментальної поверхні .....       | 49 |
| 4 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВЕРДЛА.....                                     | 51 |



|  |     |
|--|-----|
| 4.1 Розробка технологічного маршруту виготовлення змінної головки .....              | 51  |
| 4.1.1 Визначення вимог до виготовлення інструмента.....                              | 51  |
| 4.1.2 Аналіз існуючих рішень.....  | 52  |
| 4.1.3 Визначення узагальненого маршруту.....   | 54  |
| 4.1.4 Синтез оптимального технологічного маршруту .....                              | 57  |
| 4.1.4 Порівняння результатів та потужностей розглянутих технологічних процесів ..... | 60  |
| 4.2 Технологічний маршрут виготовлення корпусу свердла .....                         | 64  |
| 4.3 Розрахунок припусків на механічну обробку .....                                  | 67  |
| 4.4 Розрахунок режимів різання .....   | 73  |
| 5 КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ШЛІФУВАННЯ ГВИНТОВИХ КАНАВОК СВЕРДЛА .....         | 77  |
| 5.1 Аналіз поставленої задачі .....  | 77  |
| 5.2 Кінематична схема пристосування .....  | 77  |
| 5.3 Вузол перетворення обертового руху в поступальний .....                          | 79  |
| 5.4. Вузол перетворення обертового руху .....  | 81  |
| 5.4.1 Кінематика механізму.....  | 82  |
| 5.4.2 Підбір зубчастих коліс редуктора.....  | 82  |
| 5.4.3 Компонування механізму .....   | 83  |
| 5.4.4 Загальна схема пристосування .....   | 85  |
| 5.5 Передача крутного моменту до гайки ролик-гвинтової передачі .....                | 85  |
| 5.6 Закріплення інструмента в пристосуванні .....                                    | 86  |
| 5.7 Розрахунок затискних сил в цанговому патроні.....                                | 87  |
| 5.7.1 Визначення сил, що діють на пристосування в процесі обробки.....               | 87  |
| 5.7.2 Визначення крутного моменту, що діє на цанговий патрон                         | 89  |
| 5.7.3 Вибір цанги та параметри цангового зажиму .....                                | 90  |
| 5.7.4 Розрахунок затискних сил у цанговому зажимі .....                              | 92  |
| 5.8 Похибка базування заготовки у цанговому патроні.....                             | 98  |
| 6 ОБРОБЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА НА ВЕРСТАТІ З ЧПК .....                                     | 99  |
| 6.1. Операція чорнового точіння .....  | 100 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.2 Операція підрізання торця .....                     | 100 |
| 6.3 Операція свердління отвору під змінну головку ..... | 101 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                     | 104 |
| ДОДАТКИ .....   | 110 |

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 6    |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

## ВСТУП

В наш час використання волокнистих полімерних композиційних матеріалів(ВПКМ) знайшло дуже широке застосування в світі. Піонерами в цій галузі стали представники аеро-космічної промисловості. Композиційні матеріали можна зустріти будь-де: починаючи від автомобільного виробництва до будівель промислового та цивільного призначення.

На даний момент широко розвивається сфера пултрузійного виробництва склопластикових та вуглепластикових профілів. Склонаповнені профілі можуть майже повністю замінити «класичні» металеві профілі, так як вони мають ряд переваг над ними. В першу чергу це відбувається завдяки їх фізичним властивостям.

Найпоширенішим методом кріплення балок та інших конструктивних елементів, що виготовлені з ВПКМ, є болтові та клепані. Невід'ємною складовою при використанні болтових кріплень є наявність отворів в деталях, що вимагає використання інструмента, які призначено для створення та обробки отворів у ВПКМ.

Будь-яка технологія не є ідеальною і має слабкі місця. Важливим моментом у роботі із склонаповненими композиційними матеріалами є труднощі їх обробки. При обробці пултрузійних профілів часто виникають такі проблеми, як деламінація отворів на вході та виході, сколи кромek отворів, витягування волокон з утворенням «ефекту розлохмочуваності». Також, існує ряд проблем, пов'язаних із фізичними властивостями даного матеріала, таких як низька межа термічної деструкції, порівняно з металами.

Неможливість використання ЗОР при обробленні склопластикових профілів обумовлена тим, що, незважаючи на стійкість профілів до впливу рідин, на поверхні зрізу спостерігається інтенсивне поглинання вологи, що згубно впливає на властивості матеріала.

Метою моєї роботи стало створення свердла для обробки волокнистих полімерних композиційних профілів, виготовлених пултрузійним методом, його конструкторського та технологічного забезпечення. В ході роботи було

розроблено конструкцію свердла, запропонована оптимальна технологія його виробництва, розроблено конструктив спеціального оснащення для оптимізації процесу виготовлення.

# 1 СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА

## 1.1 Аналіз стану питання

Підвищення ефективності проектування та виготовлення сучасних конструкцій призвело до впровадження та часте використання композиційних матеріалів. Сфера застосування сучасних композиційних матеріалів надзвичайно широка: починаючи від застосування в авіаційній промисловості до будівництва доріг та різноманітних приміщень.

В авіаційній промисловості до використання ВПКМ привела боротьба за зменшення маси літального апарату, а також збільшення його ресурса та надійності вузлів та агрегатів. Як результат – перехід на нероз'ємні конструкції крила та фюзеляжу, використання товстолистових панелей обшивки літальних апаратів розмірами до 25х2 м тощо [1].

Ознаки композиційного матеріалу:

- склад, форма і розподіл компонентів визначені заздалегідь;
- складаються з двох (або більше) розділених компонентів, різного хімічного складу;
- має властивості, відмінні від властивостей компонентів, які використовуються окремо;
- однорідний в макромасштабі і неоднорідний в мікромасштабі;
- не зустрічається в природі, створений штучно.

У ході виконання даної роботи буде розглянуто оброблення саме волокнистих полімерних композиційних матеріалів, в першу чергу – склопластиків.

Особливої уваги заслуговує питання оброблення отворів у профілях з композіційного матеріалу. В Україні цей технологічний процес виробництва з'явився досить недавно та має сталу тенденцію стрімкого розвитку. Перш за все треба зауважити, що використання композиційних профілів ( мають економічну вигідність, в порівнянні з класичними, сталевими (рисунок 1.1):

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 9    |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |



Рисунок 1.1 - Економічне порівняння профілів з композиційного матеріалу зі сталевими профілями [4].

Порівняно з іншими конструкційними матеріалами такі волокнисті полімерні композиційні матеріали мають помітні переваги. Деякі з характеристик відображені в таблиці 1.1:

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика експлуатаційних характеристик деяких видів профілів.

| Характеристика | Композиційний профіль   | Низьковуглецева сталь  | Нержавіюча сталь   | Алюміній                          | Дерево                                       |
|----------------|---|--|--|-----------------------------------|--|
| Корозія        | Стійкість до широкого спектра хімічних речовин та вологості                           | Окислення і корозія. Необхідне фарбування або гальванічне покриття | Деякі типи нержавіючих сталей схильні до утворення міжкристалітної корозії | Може викликати електричну корозію | Біологічний та атмосферний вплив, руйнування |
| Міцність       | Більша міцність на згин, ніж деревина; іноді міцніше, ніж сталь і алюміній в поздовж- | Гомогенний матеріал  | Гомогенний матеріал  | Гомогенний матеріал               | Межа міцності при розриві                    |

|  |  |   |   |  |   |
|--|--|---|---|--|---|
|  | ньому напрямку   |   |   |  |   |
| Вага   | Вага на 75% менше, ніж вага стали і на 30% менше ваги алюмінію                 | Може знадобитися підйомне устаткування для пересування і установки. | Може знадобитися підйомне устаткування для пересування і установки.   | Мала вага. 1/3 ваги сталі чи міді                      | Питома вага – 0,48 кг/м   |
| Електропровідність                           | Не є провідником струму. Високий діелектричний потенціал                       | Проводить струм. Передбачається заземлення                          | Проводить струм. Передбачається заземлення  | Проводить струм. Передбачається заземлення             | Може проводити струм, коли намокає  |
| Термічні властивості                         | Хороший ізолятор з низькою термічної провідністю                               | Проводить тепло   | Проводить тепло   | Проводить тепло  | Низька теплопровідність   |
| Удароміцність                                | Не буде постійно деформуватися під впливом                                     | Може постійно деформуватися під впливом                             | Може постійно деформуватися під впливом   | Дуже легко деформується                                | Деформується, або ламається під впливом   |
| Вплив на середовище                          | Не впливає   | Не впливає  | Не впливає  | Не впливає   | Сприяє виснаженню лісових ресурсів  |
| Експлуатація                                 | Малі витрати на монтаж, менше обслуговування і тривалий термін служби продукту | Низькі початкові витрати  | Високі початкові матеріальні витрати. Витрати на монтаж і обслуговування можна порівняти з витратами з низьковуглецевої сталі | Вартість частково може бути порівняна зі склопластиком | Первісна вартість нижче, однак вимагає більше витрат на монтаж та подальшу заміну |
| Електромагнітна чи радіочастотна проникність | Проникність радіохвиль і EMI / RFI передач                                     | Може бути частково проникним для EMI / RFI                          | Може бути частково проникним для EMI / RFI  | Дуже сильні екрануючі ефекти до EMI / RFI              | Проникність радіохвиль і EMI / RFI передач  |

|                                 |  |  |   |  |  |
|---------------------------------|--|--|---|--|--|
| Виготовлен<br>ня<br>конструкцій | Може бути<br>виготовле-<br>на з<br>використан-<br>ням<br>простих<br>будівель-<br>них<br>інструмен-<br>тів. | Часто<br>вимагає<br>зварювання і<br>різання.<br>Важкий<br>матеріал<br>вимагає<br>спеціального<br>устаткування<br>для зведення і<br>установки | Володіє<br>поганою і<br>важкою<br>зварюва-<br>ністю.<br>Важкий<br>матеріал<br>вимагає<br>спеціального<br>устаткуван-<br>ня для<br>зведення і<br>установки | Хороша<br>обробка<br>(зварюванн<br>я, пайка або<br>механічне<br>з'єднання) | Може бути<br>виготовлен<br>а з<br>використан<br>ням<br>простих<br>будівельни<br>х<br>інструмент<br>ів. |
|---------------------------------|--|--|---|--|--|

З усього вищенаведеного можемо зробити висновок, що даний матеріал, в розрізі використання як будівельного та конструкційного, має цілий ряд переваг. Саме ці переваги обумовлюють доцільність його використання та зростаючу популярність.

## 1.2 Аналіз існуючих рішень

Враховуючи специфічні властивості матеріалу, а саме – неможливість використання операцій зварювання або гнуття, найпоширенішим методом з'єднання композиційних профілів є болтові з'єднання. У світі наразі існує доволі велика кількість рішень, що забезпечують якісне виконання отворів в профілях під болтові з'єднання з високою продуктивністю.

Як і в металообробці, існує 3 основних види свердел для обробки композиційних матеріалів:

- Монолітні свердла;
- Свердла з напайними різальними пластинами;
- Збірні свердла

Свердла збірного типу поділяються на два підтипи:

- Свердла зі змінними пластинками;
- Свердла зі змінною головкою;

При обробці композиційних матеріалів збірні свердла першого типу не набули поширення. Цьому причиною є характерна властивість ВПКМ, як



дуже висока абразивність та підвищення швидкості зношування корпусу свердла.

В ході виконання даної роботи було детально досліджено ринок свердел для обробки композиційних матеріалів, а також проведено патентний пошук серед робіт українських та закордонних винахідників. Розглянемо найбільш цікаві з конструктивної точки зору рішення свердлильного інструмента.

#### 1. Series 120 composite drill від компанії SGS

Компанія SGS запропонувала використовувати суцільне твердосплавне свердло з подвійною заточкою (Рисунок 1.2). Перевагами даної конструкції є зменшена осьова сила при врізанні свердла, що сприяє зменшенню «розлохмочування» отвору на вході. Також, завдяки подвійній заточці збільшується довжина різальної кромки, що сприяє підвищенню міцності інструмента. Дане свердло має алмазне покриття Di-NAMITE, що значно підвищує стійкість інструмента та якість, оброблюваних цим інструментом, отворів

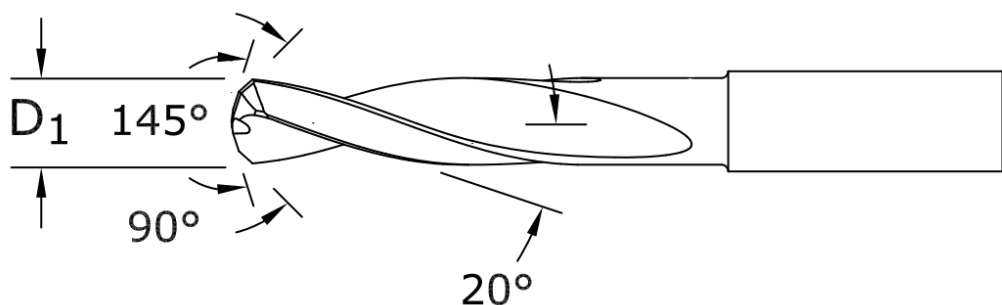


Рисунок 1.2 - Спиральне свердло SGS Series 120

До недоліків даної конструкції можна віднести відносну складність виготовлення, майже неможливість переточування інструмента, собівартість виконання отвору таким свердлом висока.

#### 2. Спиральне свердло патент FR 2861001

Переваги: збільшена довжина різальної кромки підвищує її міцність. Дане свердло виготовлене з керамічного матеріалу та призначене для свердління зі швидкістю різання до 400 м/хв на периферії, що значно перевищує швидкість різання при використанні твердосплавних фрез. Недоліками даної конструкції (Рисунок 1.3) є зворотня конусність до 3 град, що значно зменшує точність центрування свердла в отворі та кількість переточувань інструмента.

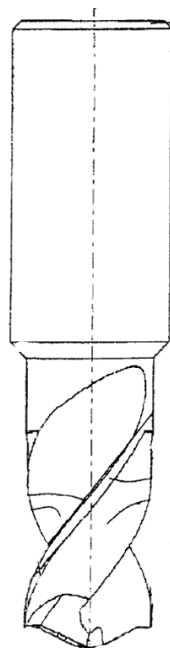


Рисунок 1.3 - Керамічне спіральне свердло патент FR 2861001

### 3. Свердло патент US10.471.521 B2

Основною перевагою даної конструкції (Рисунок 1.4) є малий кут при вершині, що значно зменшує осьову силу при свердлінні, завдяки чому зменшується деламінація на виході свердла із матеріалу. Недоліком даної конструкції є малий кут нахилу стружкової канавки, який обумовлений підвищенням міцності свердла, але створюється несприятливий процес різання.

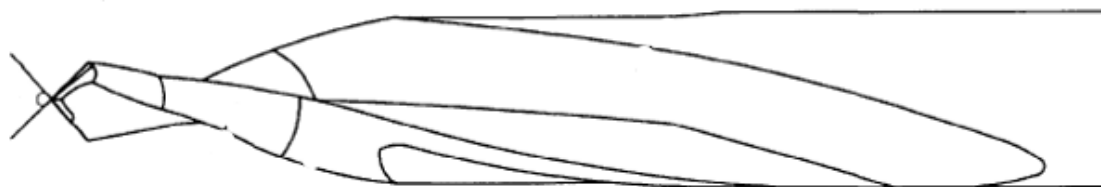


Рисунок 1.4 - Ескіз свердла зі зменшеним кутом при вершині.

#### 4. TaeguTec 3HD 100-035-10 P13

Перевагами даного цільного твердосплавного (Рисунок 1.5) свердла є вирішення проблеми центрування свердла, зменшення навантаження на зуб, збільшення стійкості інструмента. Недоліками даної конструкції є висока вартість інструмента за рахунок використання великої кількості твердого сплаву, складність переточування інструмента.

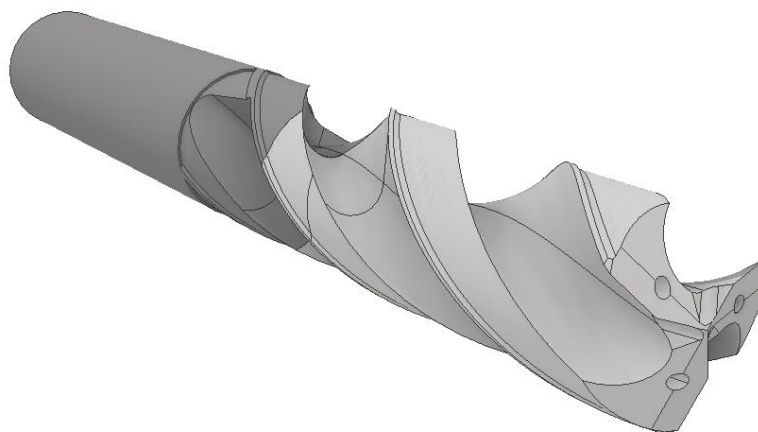


Рисунок 1.5 - Свердло 3HD 100-035-10 P13

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   | 15   |

## 1. SANDVIK CoroDrill 870

Одним із найцікавіших на мою думку рішень по впровадженню змінної твердосплавної різальної головки, є серія збірних свердел від компанії SANDVIK (Рисунок 1.6). Непереточувана різальна головка центрується в корпусі свердла по отвору, а крутний момент передається від корпусу до головки через відповідні виступи на корпусі та пази на головці. Заміна різальної головки відбувається дуже просто, завдяки тому, що вона кріпиться лише одним гвинтом.

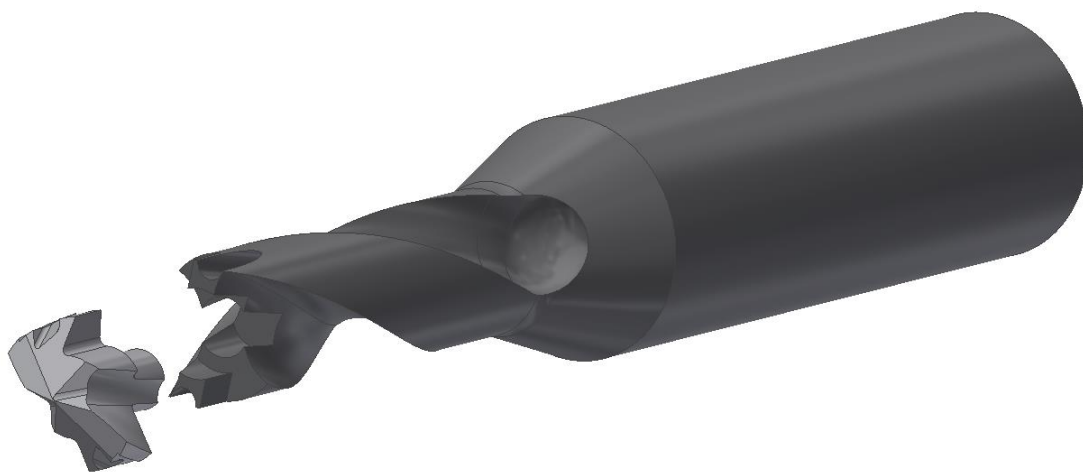


Рисунок 1.6 - SANDVIK CoroDrill 870

## 2. Змінні різальні головки MAPAL TTD-3F02-...HP385

Альтернативним рішенням у розрізі передачі крутного моменту від корпусу свердла до головки є приклад змінних головок від компанії MAPAL (Рисунок 1.7). На відміну від своїх колег вони розробили спеціальне поліклинове з'єднання TTS, що може налічувати у собі 12 або 18 зубців. Даний тип з'єднання головки з корпусом дозволяє зменшити діаметр інструмента в порівнянні з інструментами з пазовим кріпленням, за рахунок своєї компактності.

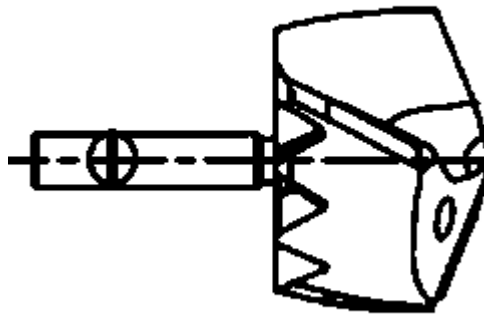


Рисунок 1.7 - Змінна головка MAPAL TTD-3F02-...HP385

### 2.3 Результати проведення аналізу

Після детального вивчення пропозицій по забезпеченню сфери обробки композиційних профілів інструментальним оснащенням, було прийнято рішення розробити трипере свердло зі змінною непереточуваною твердосплавною головкою із нанесенням додаткового захистного покриття.

Основні питання, які мають бути вирішеними інструментом, що проектується:

- Покращити якість отвору на вході та виході за рахунок зменшення деламінації в композиційному профілі;
- Зменшити ворсистість отворів, що оброблюються. Тим самим має підвищитись продуктивність праці робітника завдяки зменшенню об'єму слюсарних робіт при обробці отворів);
- Зменшення собівартості отвору за рахунок зменшення вартості інструмента.

## 2 КОНСТРУЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТА

### 2.1 Вибір матеріалу різальної частини

Процес обробки склопластикових профілів потребує від матеріала відповідності наступним вимогам:

- Висока твердість матеріала інструмента
- На відміну від металів, термічна деструкція склопластика починає відбуватись при набагато нижчій температурі. У дослідженнях Будрюгова С.І. [18] було проаналізовано стадії термічної деструкції склонаповених композиційних матеріалів. Початок температурного розкладання спостерігався за температури  $280^{\circ}\text{C}$ .
- Висока абразивність оброблюваного матеріалу обумовлює використання зносостійкого матеріалу самого інструмента.

Саме ця властивість є визначальною в процесі вибору матеріалу інструмента. Найкраще цим критеріям відповідає категорія твердих сплавів.

Дана категорія інструментальних матеріалів має значно вищу зносостійкість, у порівнянні з швидкорізальною сталлю [19].

У порівнянні з іншими інструментальними матеріалами, тверді сплави виграють за цілою низкою характеристик. Якщо теплостійкість сплавів марок ВК6 і ВК8 знаходиться в діапазоні  $800-1000^{\circ}\text{C}$ , забезпечуючи інструменту високу швидкість різання, то наприклад, у швидкорізальної сталі з помірною теплостійкістю цей параметр не перевищує  $630^{\circ}\text{C}$ , з підвищеною -  $650^{\circ}\text{C}$ , а з високою теплостійкістю -  $730^{\circ}\text{C}$ .

За теплопровідністю тверді сплави ( $84\text{ Вт / м} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ) поступаються тільки алмазам ( $142\text{ Вт / м} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ), і значно перевершують за цим параметром вуглецеву сталь ( $38\text{ Вт / м} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ) і швидкорізальну сталь ( $25\text{ Вт / м} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ). Загальновідомо, що чим вище теплопровідність, тим краще охолоджується ріжуча кромка інструменту, і тим він ефективніше працює та довше служить.

По твердості сплави марок ВК6 і ВК8 у порівнянні з мінералокерамікою (у обох матеріалів близько 2000 кгс / мм), але перевершують максимальні значення цього параметра у швидкорізальних сталей (1400 кгс / мм), вуглецевих сталей (800 кгс / мм), поступаючись тільки надтвердим матеріалам і алмазам, але не залишають їм шансів за межі міцності на вигин.

Типовою проблемою обробки волокнистих композиційних матеріалів є непідрізання армуючих волокон – «розлохмачування». З метою зменшення даного ефекту використовують інструмент з гострими різальними кромками [20]. Можливість гострої заточки різальної кромки обумовлює вибір структури матеріалу, який використовується. Отже, твердий сплав має бути мілкозернистим, або особливо мілкозернистим, так як розміри карбідних зерен безпосередньо впливають на цей параметр.

При обробці волокнистих полімерних композиційних матеріалів, світові виробники інструмента переважно використовують субмікронні тверді сплави. Наприклад Iscar – IS07-08, Sandvik Coromant – H10F, N6F, Kyocera SGS Precision Tools – FW30, тощо[21].

Дослідження, які проводились у сфері твердих сплавів були направлені на зниження розміру зерен карбіду вольфраму до нанорівнів з метою одночасного підвищення твердості і міцності, що вважається неможливим для матеріалів з «грубим» розміром зерен ( $d_{WC} > 1$  мкм). Подібні тверді сплави створені компанією «Sandvik Hard Materials» (Швеція) (сплав PN90) [22], але їх масове виробництво поки що обмежене певними технологічними ускладненнями, а саме активним окисленням вихідних компонентів та катастрофічним зростанням зерна при спіканні.

В якості матеріала для різальної частини інструмента було прийнято твердий сплав марки ВК6-ОМ відповідно до ГОСТ 3882-74. В таблиці 2.1 подано хімічний вміст компонентів сплава:

Таблиця 2.1 - Хімічний вміст компонентів у сплаві ВК6-ОМ, відповідно до ГОСТ 3882-74.

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 19   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

|     |     |
|-----|-----|
| WC  | 92% |
| TaC | 2%  |
| TiC | 0%  |
| Co  | 6%  |

У відповідності до ТУ У 28.4-30153645.001-2001 сплав ВК6-ОМ має наступні фізико-механічні властивості:

Густина: 14,6 г/см<sup>3</sup>;

Границя міцності при згині: 160 кГ/мм<sup>2</sup>;

Твердість, не менше: 91,5 HRA.

## 2.2 Захисне покриття різальної частини інструмента

У сучасному світі невід'ємною частиною матеріального забезпечення при виготовництві інструментів є наявність високотехнологічних покриттів, що використовуються для підвищення зносостійкості та швидкості протікання процесу обробки за рахунок підвищення режимів різання.

Для покращення зносостійкості різального інструменту, деталей машин, зуборізних інструментів, твердосплавних свердел і фрез застосовуються високотехнологічні покриття. Вони забезпечують підвищення стійкості інструментів до:

- Швидкого зносу інструмента (зносостійкість);
- Сили тертя (антифрикційність);
- Високої температури (термостійкість);
- Корозії (корозійностійкість);
- Адгезії (антиадгезійних).

Одними з найпопулярніших методів нанесення покриттів на тіло інструмента є хімічне осадження з газової фази (CVD – Chemical vapor deposition) та вакуумне напилення (PVD- Physical vapor deposition). Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки.



### Хімічне осадження з газової фази

В основі даного методу нанесення покриття лежить процес, що відбувається в камері, де підтримується висока температура (до 1200 градусів Цельсія). Матеріал покриття подається у паровому агрегатному стані і під дією високої температури вступає в реакцію з поверхневим шаром металорізального інструменту або деталі (заготовки) [23].

#### Основні види CVD-покриття:

- Нітрид титану  $TiN$  - запобігає формуванню задирів і налипанню оброблюваної заготовки на різальну кромку та підвищує якість обробки поверхні;
- Карбід титану  $TiC$  - підвищує зносостійкість твердосплавного інструменту і запобігає утворенню сколів;
- Оксид алюмінію  $Al_2O_3$  - збільшує стійкість до високих температур. Виконує роль термоізолятора, перешкоджаючи критичному нагріванню інструмента.

В розрізі використання даного типу покриття при виготовленні свердла для обробки волокнистих полімерних композиційних матеріалів найсуттєвішим недоліком даного виду покриття є товщина CVD – покриття, (середня товщина покриття становить 4-12 мкм, що є суперечливим показником при гострій заточці інструмента) [24].

### Фізичне осадження з парової фази

Принциповими відмінностями нанесення покриття PVD є технологічний процес і фізичні явища, що лежать в основі цього методу. При фізичному методі нанесення покриття матеріал переходить з твердого стану в газову фазу в результаті випаровування під впливом теплової енергії або в результаті розпилення за рахунок кінетичної енергії зіткнення частинок матеріалу. Потім пучок отриманої газової фази матеріалу за допомогою електромагнітного поля транспортується до різального інструмента, нагрітого до температури, що не перевищує  $500^{\circ}C$ , де

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 21   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

іонізований матеріал зіштовхується та рівномірно конденсується на різальному інструменті[23].

Основні види PVD -покриття:

- Нітрид титану TiN;
- Карбонітрид титану TiCN - підвищує продуктивність інструменту в порівнянні з покриттям нітриду титану завдяки більш високій швидкості подачі і швидкості різання. Застосовується, в випадках, коли необхідно забезпечити захист інструменту від високих температур різання.
- Алюміній Титан Нітрид AlTiN - покриття з унікальною нанокompatитною структурою, яка значно підвищує твердість, термостійкість та опір ударним навантаженням. Результати випробувань вказують на збільшення терміну служби інструменту і скорочення часу циклів металообробки.
- Алюміній Хром Нітрид AlCrN - відрізняється унікальною нанокристалічної решіткою, яка значно збільшує твердість і жароміцність. Призначено для рівномірного зносу і опору сколюванню, завдяки високій термостійкості і високій продуктивності в складних умовах і переривчастих режимах різання, як з охолоджувальною рідиною, так і без неї.

Одним із різновидів PVD покриттів є алмазоподібне покриття (DLC - Diamond-like carbon). DLC-покриття утворюються, коли іонізовані та розкладені види вуглецю або вуглеводнів висаджуються на поверхню підкладки з енергією 10-300eВ. Плівки DLC можуть мати виняткову механічну (високу твердість), оптичну (високий оптичний зазор смуги), електричну (високий електричний опір), хімічну (інертну) та трибологічну (низький коефіцієнт тертя та зносу) і можуть осідати при низькій температурі підкладки (~ 200 ° C) [25].

Даний тип покриття забезпечує низький коефіцієнт тертя та стійкість до адгезії. Твердість такого покриття, на прикладі покриття DL1000 становить

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 22   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

92,9 HRA [25]. Товщина покриття становить 0,5-1,5 мкм [25], що є позитивним фактором в розрізі гостроти різальної кромки інструмента.

### 2.3 Технічні вимоги до свердла, що проектується

Відповідно до технічного завдання, свердло, що проектується, призначене для обробки отворів 12 класу точності.

Матеріал хвостової частини(корпусу свердла) – Сталь 45, або сталь 40Х.

Для циліндричного хвостовика твердість повідка має становити не менше ніж HRC27.

На поверхні свердла не має бути викришувань, тріщин (сітки), заусенців, чорновин на шліфованих поверхнях та слідів корозії.

Параметри шорсткості поверхонь:

- Передньої та задньої поверхні  $R_z \leq 1.6$ ;
- Гвинтової поверхні стрічок  $R_z \leq 3.2$ ;
- Поверхні хвостової частини  $R_z \leq 0.63$ ;
- Інших поверхонь -  $R_z 25$ .

Поля допусків хвостової частини – h7, робочого діаметра свердла – h8.

Граничні відхилення довжини свердла:  $\pm IT15$ ;

Граничні відхилення довжини робочої частини свердла:  $\pm IT16$ .

Свердло повинно мати рівномірну зворотню конусність.

Допуск осьового биття по середині різальних кромок: 0,03 мм

Допуск радіального биття по стрічках свердла на всій довжині робочої частини свердла: 0,03 мм

Допуск симетричності серцевини відносно осі свердла: 0,05 мм.

Граничне відхилення кута нахилу різальної кромки не повинне перевищувати 2 град.

Критерій затуплення змінної різальної головки – знос по різальній кромці, що не має перевищувати 0,3 мм.

## 2.4 Конструкція свердла

### 2.4.1 Опис конструктивних елементів

З метою покращення процесу відведення тепла із зони різання, зменшення навантаження на різальну кромку, підвищення жорсткості інструмента було прийнято рішення використати конструкцію триперого спірального свердла.

Свердло складається з корпусу інструмента з інструментальної сталі та твердосплавної змінної непереточуваної головки з покриттям. Головка кріпиться до інструменту завдяки установчому гвинту.

На торцях корпусу та змінної головки присутні уступи (Рисунок 1.8), що призначені для передачі крутного моменту від корпусу до різальної головки. Даний тип з'єднання був обраний через його відносну компактність у порівнянні з пазовим кріпленням змінних головок.

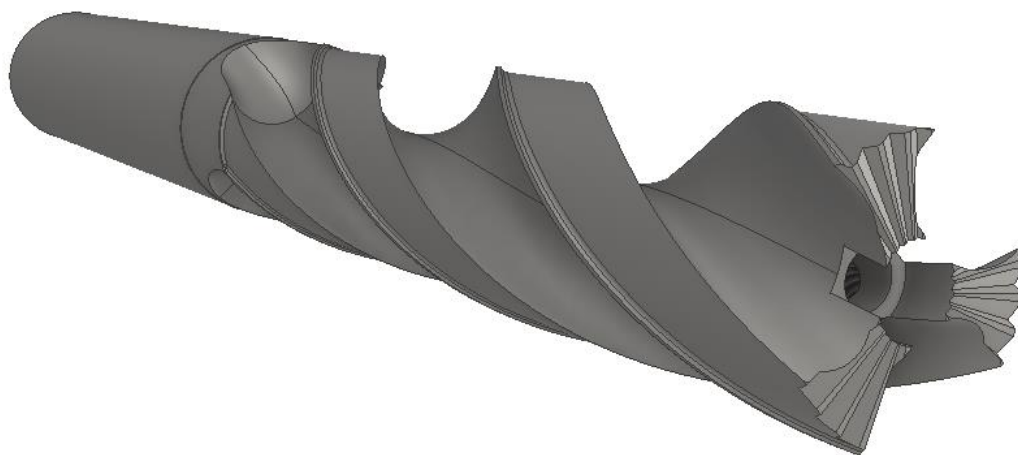


Рисунок 1.8 - Торець корпусу свердла

Хвостовик інструмента – циліндричний, під встановлення його в цанговий патрон із цангою ER25.

### 2.4.2 Параметри інструмента

На значення осьової сили напряду впливає кут нахилу різальної кромки інструмента. При зменшенні цього параметра зменшується осьова сила та крутний момент різання, що як наслідок, дає свій результат у вигляді зменшення заусенців на вході та виході з отвору та ефекту розлохмачування волокон на зрізі отвору. Було вирішено прийняти кут нахилу різальної кромки  $\varphi = 50^\circ$ .

Задній кут інструмента було прийнято за  $10^\circ$  з метою знайти компроміс між величиною зношування інструмента та стабільністю зношування [44].

З метою створення сприятливих умов різання було прийнято кут нахилу гвинтової канавки рівним  $30^\circ$ . При збільшенні даного параметра спостерігається проблема з евакуацією стружки, а також зменшується жорсткість свердла.

Величина зворотної конусності впливає на опір різанню. Проте, кількість можливих переточувань інструмента із збереженням заданого діаметра зменшується із підвищенням конусності. Так як змінні головки не є переточуваними через наявність на них покриття, було прийнято рішення збільшити конусність інструмента з стандартних 0,05-0,15 мм/100 мм до 0,25 мм/100 мм.

### 2.4.3 Розрахунок сили притискання змінної головки до корпусу свердла

Вихідні дані:

Головка притискається установчим гвинтом з номінальним розміром M2;

Кут між віссю гвинта та віссю інструмента  $\varphi = 45^\circ$ ;

Схему закріплення головки в корпусі представлено на Рисунку 1.9.

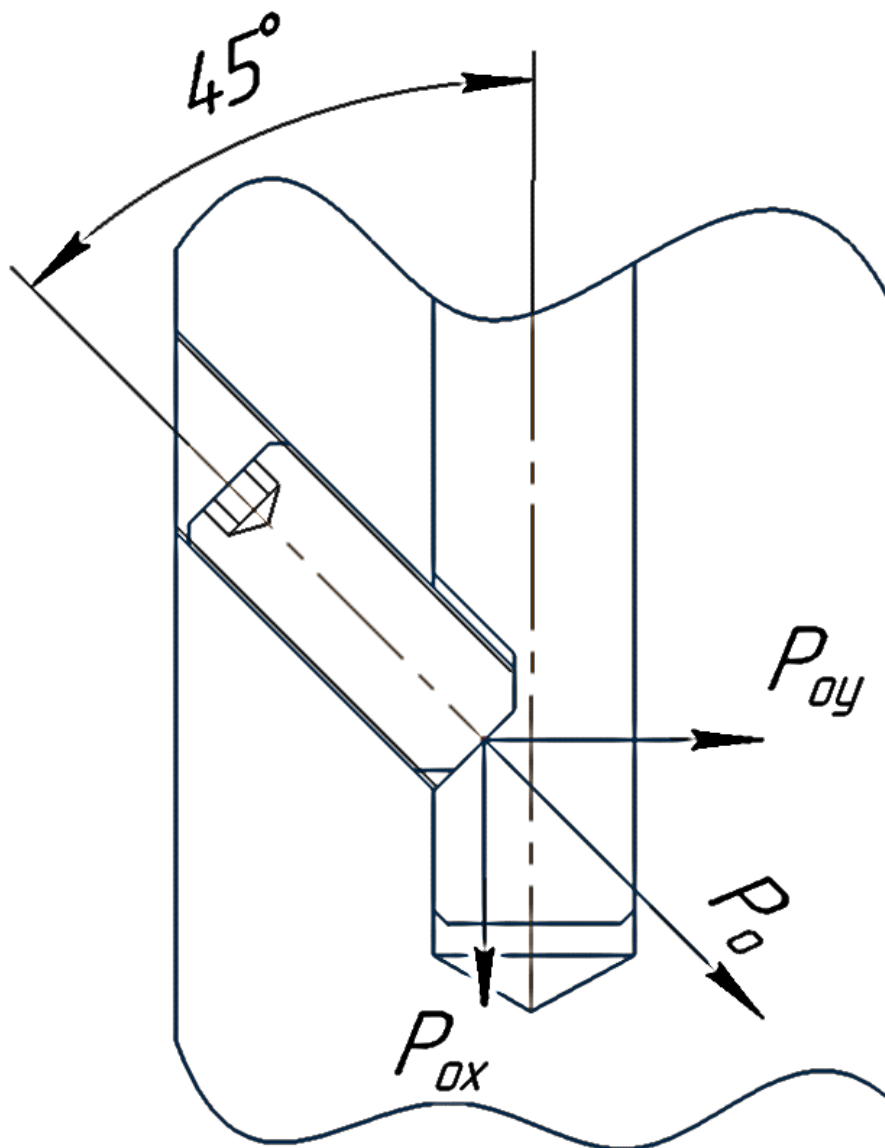


Рисунок 1.9 - Схема закріплення змінної головки в корпусі свердла

Приймаємо установчий гвинт М2 з плоским торцем із класом міцності 45Н. Нормальний крок нарізи – 0,4 мм. Максимальний момент затяжки такого гвинта – 0,63 Нм. Діаметр плоского торця – 2,5 мм.

Осьова сила, що створюється при затягуванні гвинта:

$$P_0 = \frac{M_{\text{зат}}}{\frac{d_2}{2} \tan(\psi + \rho') + f_{\text{пр}} D} \quad (2.1)$$

Де  $d_2$  - середній діаметр нарізи – 1,74 мм;  
 $D$  - діаметр переднього торця гвинта  
 $\psi$  - Кут підйому витків  
 $\rho'$  - приведений кут тертя нарізи.

Кут підйома витків визначається, як

$$\tan \psi = \frac{p}{\pi d_2} \quad (2.2)$$

Підставивши в цю формулу значення кроку нарізі та її середнього діаметра, визначимо, що  $\psi = 4,18^\circ$ .

$$\rho' = \tan^{-1} \frac{f_p}{\cos(0,5\alpha)} = \tan^{-1} \frac{0.25}{\cos(0,5 \times 30)} = 14.51^\circ = 14^\circ 30' \quad (2.3)$$

Де  $f_p$  - коефіцієнт приведенного тертя в нарізі, 0,25  
 $D$  -  $\alpha$ - кут профілю нарізі, 30 град

Підставивши ці дані в формулу (2.1) отримуємо залежність:

$$P_0 = \frac{M_{\text{зат}} * 10^3}{0,67} \quad (2.4)$$

Прийmemo момент затяжки для даного гвинта  $M_{\text{зат}} = 0,5 \text{ Нм} < M_{\text{зат}^{\text{фч}}}$ .  
 Тоді  $P_0 = 715 \text{ Н}$ .

Так як сила спрямована під кутом до осі інструмента, вона розкладається на дві складові – осьову та радіальну. Осьова сила:

$$P_{0x} = P_0 * \cos 45^\circ = 505 \text{ Н}$$

Відповідно до прийнятої конструкції з'єднання корпусу свердла з головкою, зробивши деякі спрощення, маємо наступну динамічну схему:

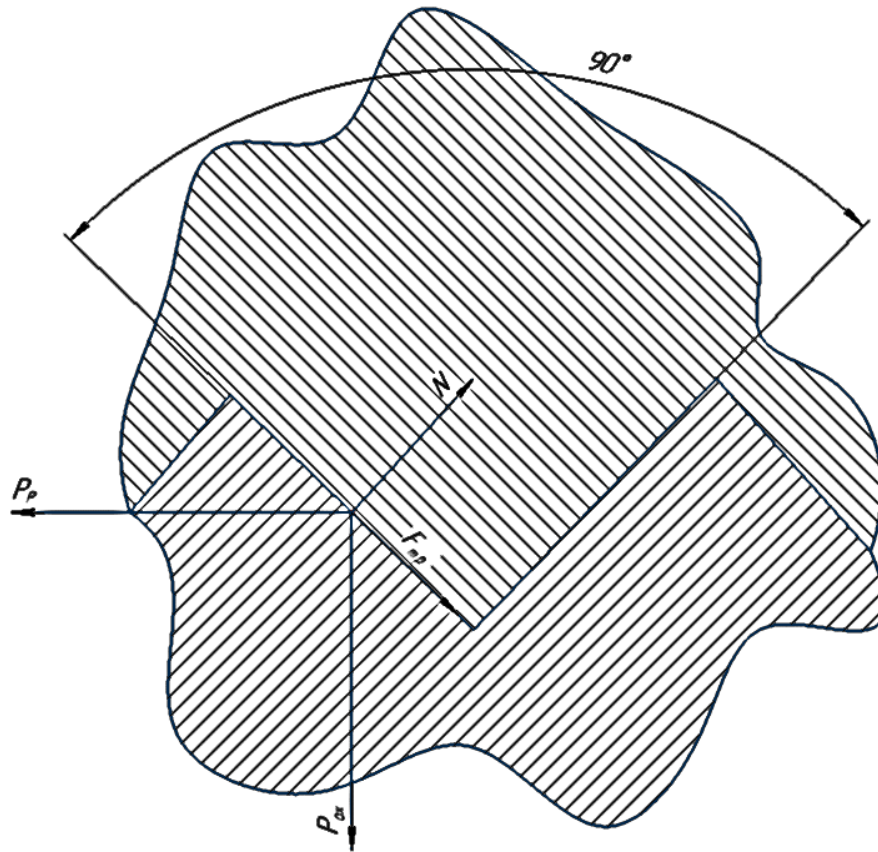


Рисунок 1.10 - Схема дії сил в з'єднанні корпус-змінна головка

Тут  $P_p$  – сила, що створена крутним моментом  $P_p = M_{KP} / \frac{d}{2}$

Отримуємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} P_p * \cos 45^\circ = P_{OX} * \cos 45^\circ + F_{тр} \\ N = (P_{OX} + P_p) * \cos 45^\circ \end{cases} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт тертя твердого сплаву по сталі знаходиться в межах 0,25-0,35 [43]. Приймаємо  $k=0,3$ . Отримуємо рівняння

$$P_p * \cos 45^\circ = P_{OX} * \cos 45^\circ + (P_{OX} + P_p) * \cos 45^\circ * k \quad (2.6)$$

$$P_p = \frac{P_{OX} * \cos 45^\circ (1 + k)}{\cos 45^\circ (1 - k)} = 1.85 P_{OX} = 940 \text{ Н}$$

Тоді крутний момент  $M_{KP} = 4,69 \text{ Нм}$ .



### 3 УТВОРЕННЯ ГВИНТОВОЇ КАНАВКИ ІНСТРУМЕНТА

#### 3.1 Вихідні параметри:

- Зовнішній діаметр свердла  $D=10$  мм
- Кут нахилу стружкової канавки свердла  $\omega=30^\circ$ ;
- Діаметр серцевини свердла  $d_0=2,68$  мм;
- Нахил різальної кромки свердла  $\varphi=50^\circ$ ;

Основними параметрами, що визначають гвинтову канавку є профіль торцевого перерізу інструмента та крок гвинтової лінії  $H$ . Параметр гвинтового руху різальної кромки при відомій величині нахилу стружкової канавки визначається як[2]:

$$H = \frac{\pi * D}{\tan \omega} = \frac{\pi * 10}{\tan 30} = 54.41 \text{ мм} \quad (3.1)$$

В цілому, методика розрахунку гвинтової стружкової канавки триперого свердла співпадає з методикою розрахунку для двохперого. В ході виконання даної роботи скористаємось графоаналітичним методом суміщених перерізів[26].

#### 3.2 Торцевий переріз свердла

Торцевий переріз свердла є вихідною базою для розрахунків під час профілювання інструмента, що утворює гвинтову поверхню. Торцевий профіль складається з двох частин – робочої та неробочої ділянки стружкової канавки

##### 3.2.1 Робоча ділянка стружкової канавки

Робоча ділянка стружкової канавки визначається параметрами різальної кромки, а саме – її геометрією. Ефективним рішенням проблеми високого ступеня розлохмочування може стати створення непрямої різальної кромки. Надання різальній кромці форми «коси» стріє створенню ефекту підрізання волокон на периферії, тим самим, дозволяє досягти більш високої якості оброблюваного отвору. В каталогах своєї продукції [27] компанія

ТаeguTec представляє низку рішень, що стосується свердління композиційних матеріалів, в тому числі вуглепластиків, склопластиків, текстолітів. На прикладі змінних твердосплавних головок серії 3ED...-P+ (Рисунок 3.1) ми можемо побачити так звану евольвентну різальну кромку, що призначена для підрізання волокон від периферії.

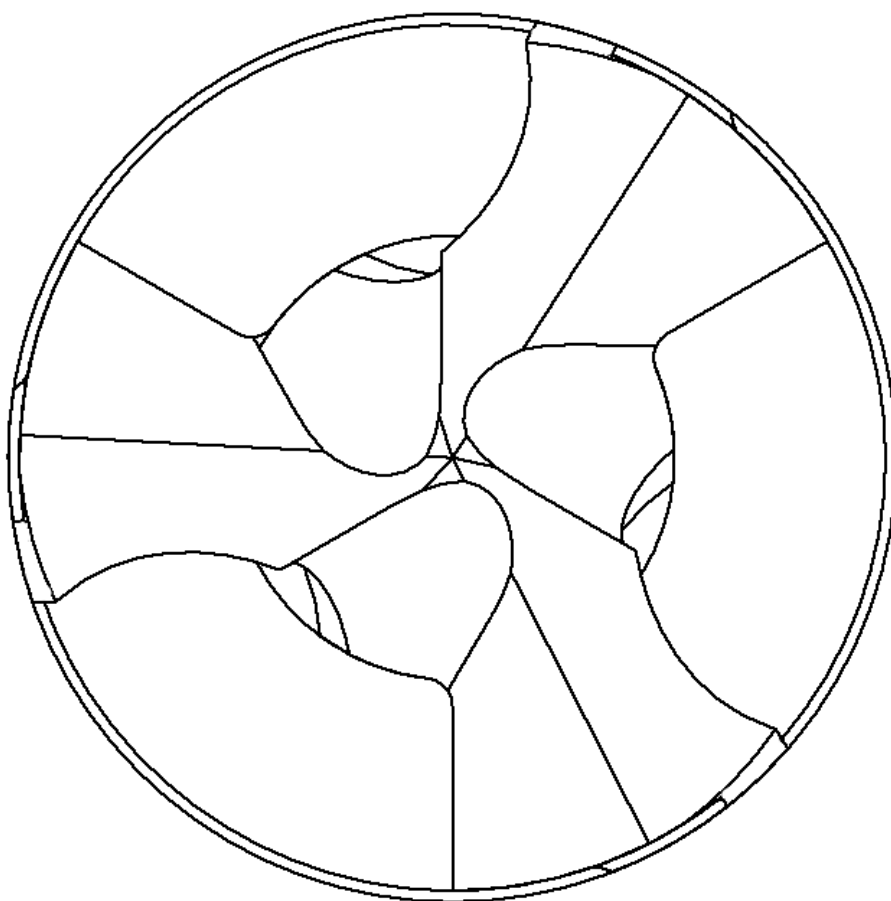


Рисунок 3.1 - Профіль різальної кромки свердла ТаeguТес 3ED...-P+

В ході виконання даної роботи було вирішено впровадити криволінійну різальну кромку, що забезпечує ефект підрізання волокон. Було прийнято замінити прямолінійну різальну кромку на дугу кола з кутом розкриття 15 град.

Геометричні параметри різальної кромки напряду залежать від кута нахилу різальної кромки, кута нахилу гвинтової стружкової канавки та профілю робочої частини стружкової канавки. Перших два параметри нам

вже відомі, тому знайдемо профіль робочої частини стружкової канавки в залежності від бажаної геометрії різальної кромки.

Робочу ділянку стружкової канавки визначимо графоаналітичним методом [28]:

1. Викреслюємо торцеву та осьову проекцію свердла та відкладаємо проекції різальної кромки на них. Позначаємо її як ВК, де К – зовнішня точка. Дуга ВК має кут розкриття 15 град;

2. На осьовій проекції відкладаємо площину Т-Т, що перпендикулярна до осі свердла через точку К;

3. Визначаємо відстань від і-тої точки на різальній кромці до площини(в даній роботі робоча частина стружкової канавки поділена на 11 точок);

4. За співвідношенням

$$\Delta_i = \frac{h_i}{H} \times 360^\circ \quad (3.2)$$

знаходимо кут, на який в торцевому перерізі потрібно повернути кожну і-ту точку відносно центра свердла. Отримані дані заносимо в таблицю 3.1.

5. Відкладаємо точки М<sub>іТ</sub> в торцевій проекції свердла та з'єднуємо усі точки плавною кривою. Отримуємо профіль робочої ділянки стружкової канавки. Занесемо параметри розрахункових точок в таблицю 3.1.

На рисунку 3.2 зображений процес знаходження профілю робочої ділянки стружкової канавки в залежності від параметрів ф, Н та профілю різальної кромки.

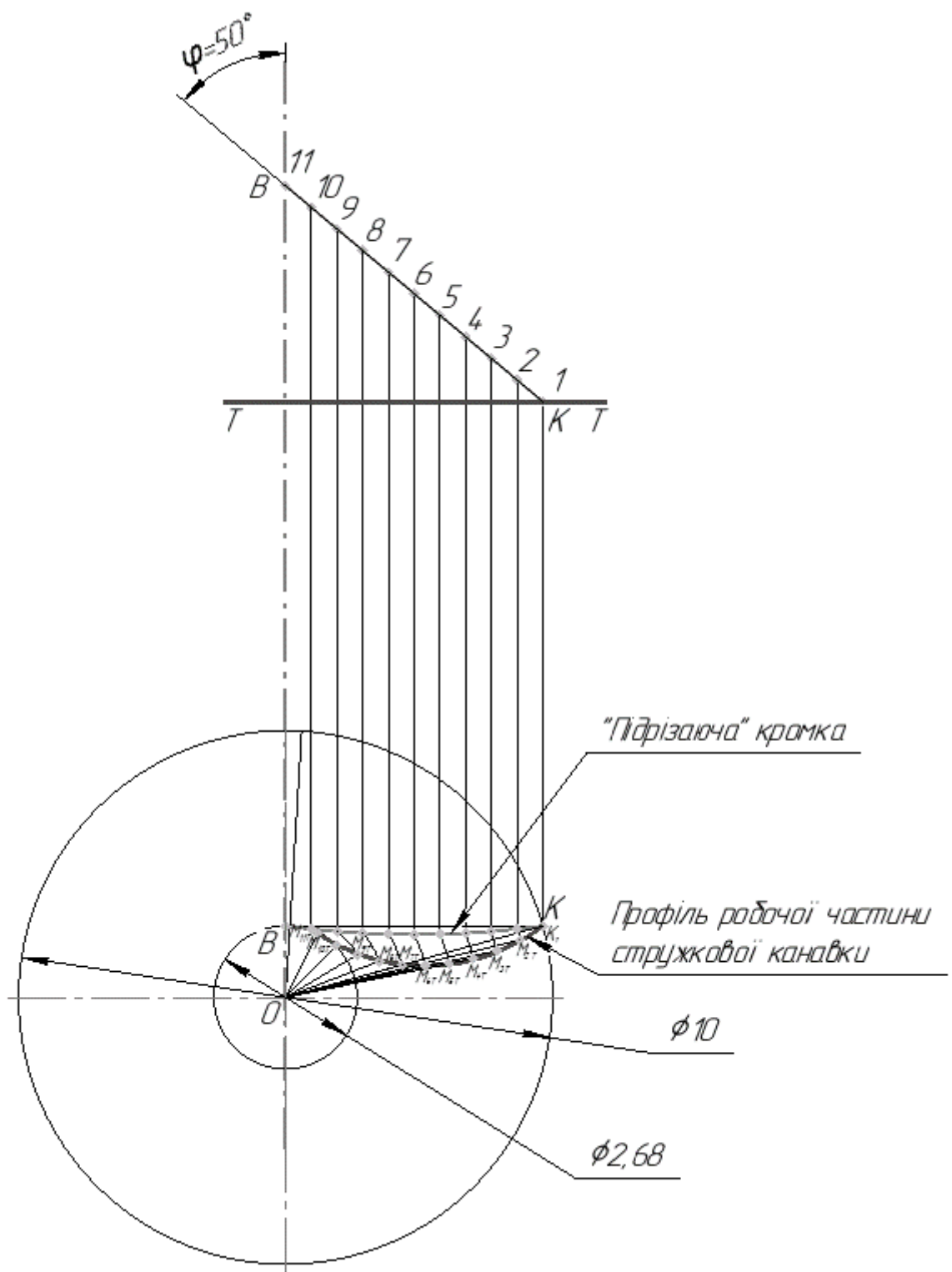


Рисунок 3.2 - Визначення профілю робочої ділянки в торцевому перерізі

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |

ПЗ.ДП.МІ.6106.000

Лист

32

Таблиця 3.1 - Параметри точок для робочої частини стружкової канавки

| №<br>точки | h, мм | $\Delta$ ,<br>град |
|------------|-------|--------------------|
| 1          | 0     | 0                  |
| 2          | 0,404 | 2,673              |
| 3          | 0,808 | 5,346              |
| 4          | 1,212 | 8,019              |
| 5          | 1,616 | 10,691             |
| 6          | 2,020 | 13,364             |
| 7          | 2,424 | 16,037             |
| 8          | 2,828 | 18,710             |
| 9          | 3,232 | 21,383             |
| 10         | 3,636 | 24,056             |
| 11         | 4,040 | 26,728             |

Побудова виконується за допомогою програми “Компас-3D.V18”. При побудові отримуємо картину, зображену на рисунку 3.1. Як видно з даної схеми, ділянка ВК поділена на 10 рівних частин, отримані 11 точок переносяться на торцевий переріз свердла. Як бачимо, точка К проєціюється на торцевий переріз без зміщення, а точка В переходить в  $V_T$  по серцевині свердла. Дуга  $BB_T$  не належить до стружкової канавки (неробоча частина починається в точці  $V_T$ ).

Як результат даної операції отримали набір точок  $M_1-M_{11}$ , що лежать на торцьовому профілі робочої частини стружкової канавки. Якщо провести сплайн по цих точках – отримуємо сам профіль. В спрощених варіантах розрахунку можемо використовувати замість сплайну дугу кола, що проходить через будь-які три з цих точок, дві з яких –  $V_T$  і  $K_T$ .

### 3.2.2 Неробоча ділянка стружкової канавки

Неробоча ділянка стружковій канавки(спинка) утворюється, як дуга радіусом  $R_c$ . Для побудови спинки необхідно знати кілька пунктів:

- Точка  $C_T$  лежить на зовнішньому колі свердла;
- Кут  $\angle K_T O C_T = 71$  град;

- Центр кола, якому належить дуга  $C_T B_T$  лежить на продовженні відрізка  $O B_T$ ;
- В точці  $B_T$  не має бути перелому кривої, отже дотичні до двох кривих в даній точці мають збігатися.

За допомогою САПР будуємо неробочу ділянку стружкової канавки. Отримуємо повний профіль стружкової канавки в торцевому перерізі, зображений на рисунку 3.3. Ділянка  $C_T B_T$  – неробоча частина стружкової канавки(спинка), ділянка  $B_T K_T$  – робоча частина стружкової канавки. Обидві ділянки мають спільну дотичну в точці  $B_T$ , тобто в цій точці графік плавний.

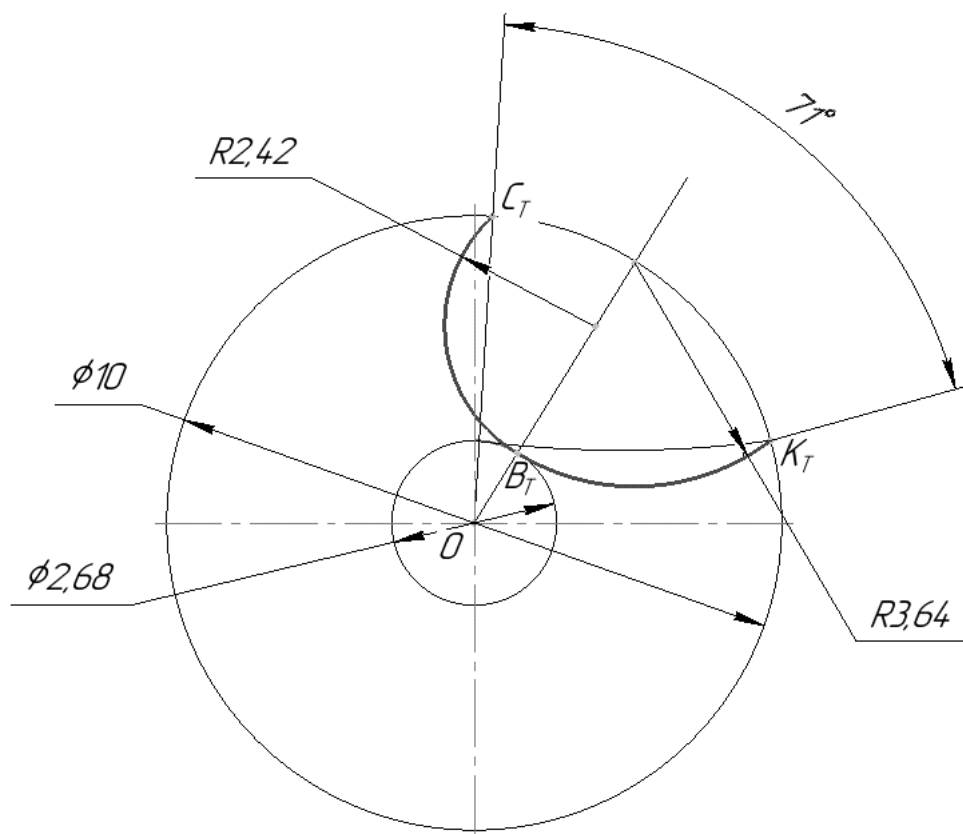


Рисунок 3.3 - Повний профіль стружкової канавки в торцевому перерізі

Хоч сучасні САПР можуть працювати зі сплайнами, але іноді доцільно замінити криву (в даному випадку це робоча частина стружкової канавки) на дугу. Отримуємо наступні значення:

Радіус спинки:  $R_1=2,415$  мм

Радіус робочої частини:  $R_2=3,638$  мм.

### 3.3. Установчі параметри деталь-інструмент

Установчими параметрами регулюється відносне положення деталі, що оброблюється та інструмента, який оброблює цю деталь. У випадку оброблення тіла обертання тілом обертання цих параметрів два = міжосьова відстань та кут між осями деталі та інструмента. На рисунку 3.4 зображені ці параметри.

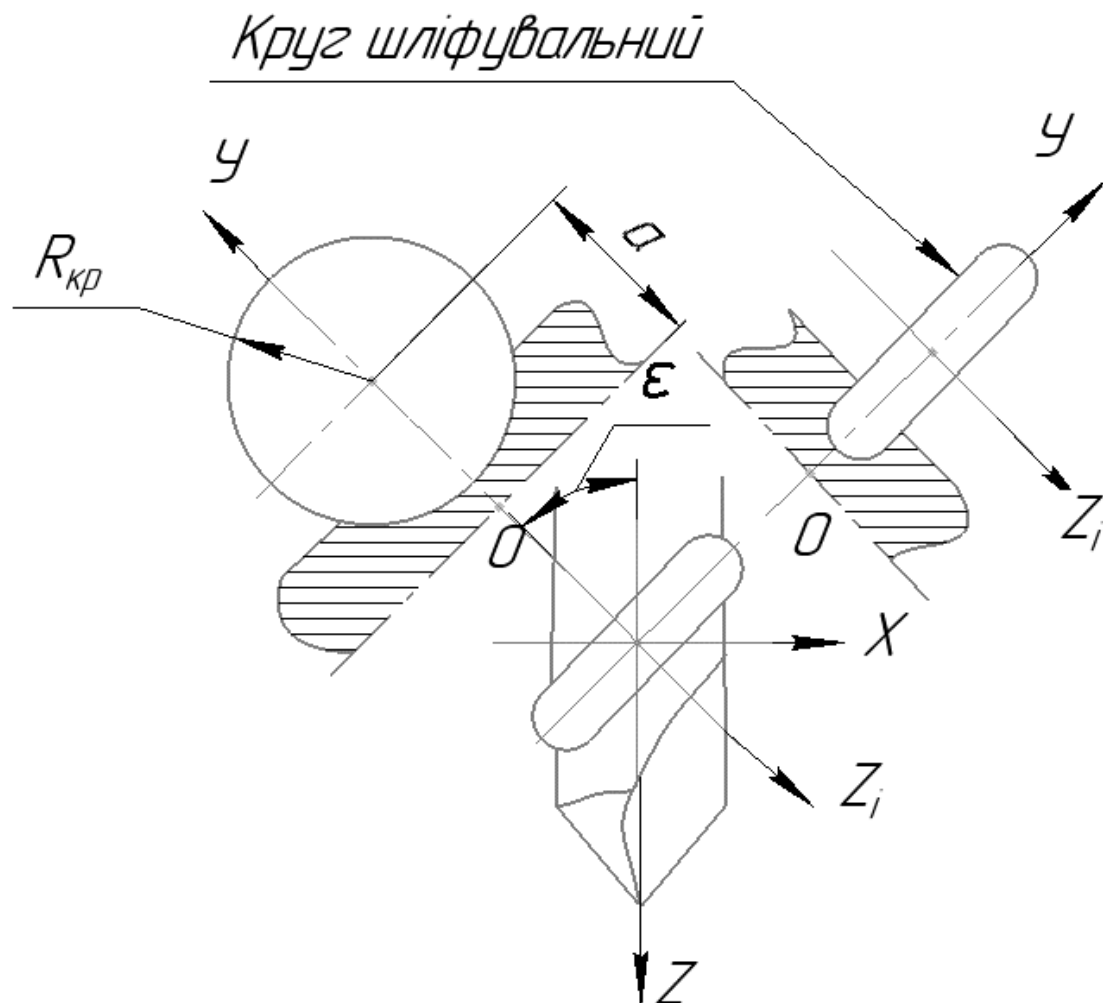


Рисунок 3.4 - Орієнтрація інструментів у просторі.

1. Найкоротша відстань  $a$  між осями  $Z$  деталі та  $Z_i$  інструмента [28]:

$$a = r_0 + 3 \dots 4R = 1,34 + 3 \dots 4 \times 5 = 16,34 \dots 21,34 \quad (3.3)$$

Відповідно до [29], мінімальні розміри фасонного шліфувального круга мають становити 50 мм, яку ми приймаємо. Відповідно, міжосьова відстань  $a=26$  мм.

2. Кут  $\varepsilon$  між осями  $Z$  оброблювальної деталі та  $Z_i$  інструмента визначимо як [28]:

$$\varepsilon = 90^\circ - (\omega^\circ - 1^\circ) = 90^\circ - (30^\circ - 1^\circ) = 61^\circ \quad (3.4)$$



### 3.4 Графічне профілювання

#### 3.4.1 Границі стружкової канавки

Першим етапом графічного профілювання інструмента є визначення меж існування гвинтової канавки. Як відомо із попереднього підрозділу, крайніми точками стружкової канавки в торцьовому перерізі є точки  $C_T$  і  $K_T$ . Для визначення меж всього профілю, знайдемо гвинтові траєкторії цих точок.

- Викреслюємо осьову проекцію та торцевий переріз із початковим положенням стружкової канавки;
- В осьовій проекції обираємо початкове положення та проєціюємо точки  $C_T$  і  $K_T$ ;
- Для кожної з точок задаємо ряд послідовних кутових кроків  $\Delta$  (в даному випадку  $\Delta = 10^\circ$ );
- Знаходимо відстань, на якій будуть знаходитись точки за даного кута повороту (знак зберігається в залежності від кута повороту):

$$m_i = \frac{H \times \Delta_i}{360^\circ} \quad (3.5)$$

Кути повороту стружкової канавки та відповідна відстань від початкового положення на осьовому перерізі представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Положення точок на стружковій канавці

| № точки | $\Delta_i$ , град | m, мм  |
|---------|-------------------|--------|
| 1       | 60                | 9,069  |
| 2       | 50                | 7,557  |
| 3       | 40                | 6,046  |
| 4       | 30                | 4,534  |
| 5       | 20                | 3,023  |
| 6       | 10                | 1,511  |
| 7       | 0                 | 0,000  |
| 8       | -10               | -1,511 |
| 9       | -20               | -3,023 |
| 10      | -30               | -4,534 |

|    |     |        |
|----|-----|--------|
| 11 | -40 | -6,046 |
| 12 | -50 | -7,557 |
| 13 | -60 | -9,069 |

По отриманим точкам можемо побудувати профіль гвинтової канавки(Рисунок 3.5.). Як бачимо, додатній чи від'ємний кут повороту вказує на положення з лівої, або з правої сторони базового положення.

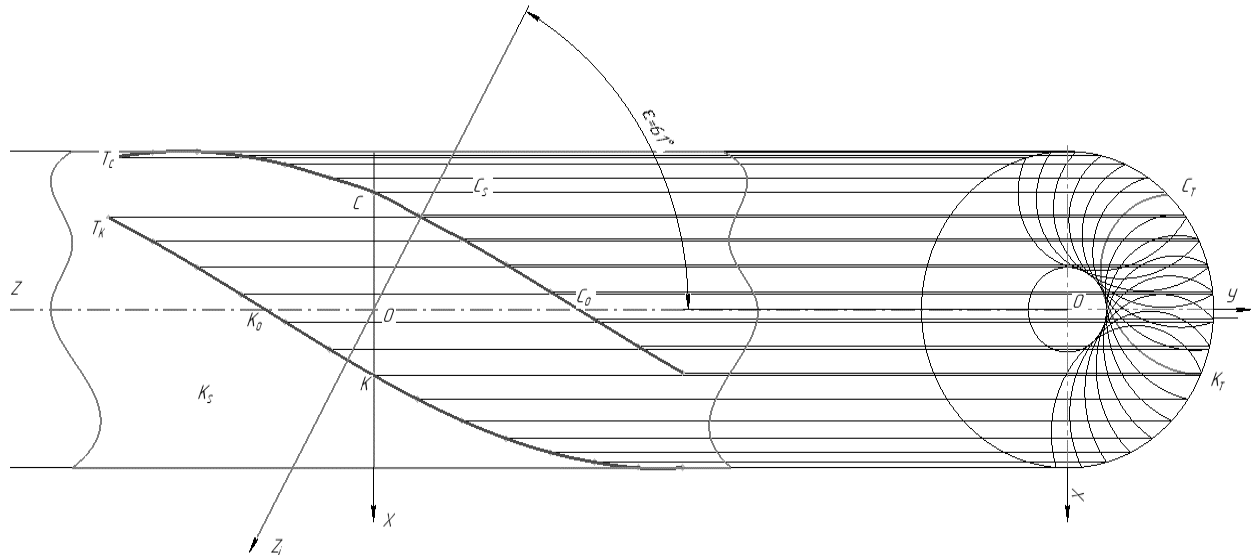


Рисунок 3.5 - Границі стружкової канавки

### 3.4.2 Переріз гвинтової поверхні

Викреслюємо 7 січних площин профілю гвинтової канавки, розрахуємо відстань від них до базової площини ( в даній роботі у зв'язку з невірним обраним базовим положенням та кутом між осями Z та Zi, результат не є коректним та не може вважатися задовільним, проте методика виконання є теоретично вірною). Після того, як відстані виміряно – розраховуємо відповідний кут повороту стружкової канавки, вважаючи що

$$\Delta_i = \frac{l_i}{H} \times 360^\circ \quad (3.6)$$

Маємо параметри торцевих перерізів (таблиця 3.3)

Таблиця 3.3 - Параметри торцевих перерізів

| Переріз | $l_i$ , мм | $\Delta$ , град |
|---------|------------|-----------------|
| S0      | 0,000      | 0,000           |
| S1      | 0,671      | 4,439           |
| S2      | 1,342      | 8,879           |
| S3      | 2,683      | 17,751          |
| S4      | -0,671     | -4,439          |
| S5      | -1,342     | -8,879          |
| S6      | -2,683     | -17,751         |

Обираємо розрахункові точки на профілі канавки ( Рисунок 3.6.) в торцевому перерізі (в даній роботі було обрано 11 розрахункових точок на кожному торцевому перерізі, вони поділяють стружкову канавку на 10 рівних по довжині ділянки.

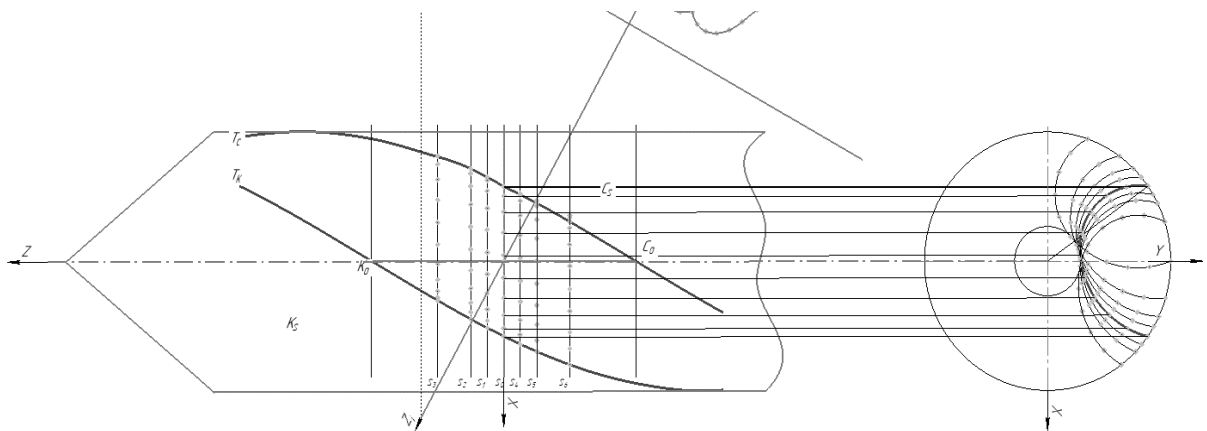


Рисунок 3.6 - Проекція точок на перерізах гвинтових канавок

Як видно з Рисунку 3.6., в деяких перерізах проекції точок виходять за межі стружкової канавки. Вихід точок за межі гвинтової канавки можна спостерігати в перерізах S5 та S6, де точки виходять в заборонену зону  $C_s$ , внаслідок чого в реальному випадку буде відбуватися зарізання канавки та порушиться геометрія стружкової канавки. Ця помилка обумовлена невірним вибором початкового положення торцевого перерізу, тобто

розташування шліфувального круга. При зміщенні Точки О, тобто розташування осі  $Z_i$  в напрямку точки  $K_0$ , дана проблема буде вирішена і зарізання відбуватися не буде.

Виміряємо координати отриманих точок в системі інструменту:

- Координату  $Z_i$  визначимо в осьовій проекції свердла відносно точки О.
- Координату  $R_i$  визначимо в проекції перерізу гвинтової канавки січними площинами

Отримали наступні координати точок заносимо в таблицю 3.4

Таблиця 3.4 - Визначення точок торцевих перерізів стружкової канавки

| S0 l=0 мм Δ=0 град         |        |        |
|----------------------------|--------|--------|
| Точка №                    | z', мм | r', мм |
| 1                          | 25,34  | 159,87 |
| 2                          | 25,08  | 168,64 |
| 3                          | 22,06  | 176,62 |
| 4                          | 16,68  | 182,78 |
| 5                          | 9,67   | 186,34 |
| 6                          | 1,97   | 186,84 |
| 7                          | -5,65  | 184,8  |
| 8                          | -12,46 | 180,87 |
| 9                          | -18,29 | 175,19 |
| 10                         | -22,7  | 168,09 |
| 11                         | -25,45 | 159,96 |
| S1 l=0,671 мм Δ=4,439 град |        |        |
| Точка №                    | z', мм | r', мм |
| 1                          | 25,13  | 163,39 |
| 2                          | 24,19  | 172,02 |
| 3                          | 20,55  | 179,52 |
| 4                          | 14,71  | 184,97 |
| 5                          | 7,44   | 187,65 |
| 6                          | -0,28  | 187,24 |
| 7                          | -7,64  | 184,29 |
| 8                          | -14,18 | 179,57 |
| 9                          | -19,53 | 173,19 |
| 10                         | -23,37 | 165,54 |
| 11                         | -25,82 | 157,08 |
| S2 l=1,342 мм Δ=8,879 град |        |        |
| Точка №                    | z', мм | r', мм |
| 1                          | 24,77  | 167,59 |

| 2                            | 23,14  | 175,96 |
|------------------------------|--------|--------|
| 3                            | 18,9   | 182,9  |
| 4                            | 12,63  | 187,56 |
| 5                            | 5,15   | 189,32 |
| 6                            | -2,52  | 187,97 |
| 7                            | -9,62  | 184,18 |
| 8                            | -15,77 | 178,64 |
| 9                            | -20,59 | 171,62 |
| 10                           | -29,81 | 163,53 |
| 11                           | -26,16 | 154,81 |
| S3 l=2,683 мм Δ=17,751 град  |        |        |
| Точка №                      | z', мм | г', мм |
| 1                            | 22,29  | 176,25 |
| 2                            | 19,78  | 183,91 |
| 3                            | 14,62  | 189,7  |
| 4                            | 7,73   | 192,88 |
| 5                            | 0,05   | 193,06 |
| 6                            | -7,41  | 190,16 |
| 7                            | -14,02 | 184,92 |
| 8                            | -19,32 | 178,28 |
| 9                            | -23,17 | 170,41 |
| 10                           | -25,27 | 161,8  |
| 11                           | -26,34 | 155,64 |
| S4 l=-0,671 мм Δ=-4,439 град |        |        |
| Точка №                      | z', мм | г', мм |
| 1                            | 15,35  | 196,59 |
| 2                            | 10,63  | 202,27 |
| 3                            | 4,04   | 205,44 |
| 4                            | -3,56  | 205,69 |
| 5                            | -11,15 | 202,91 |
| 6                            | -17,71 | 197,46 |
| 7                            | -22,85 | 190,2  |
| 8                            | -26,33 | 182,5  |
| 9                            | -28,09 | 173,57 |
| 10                           | -27,97 | 165,06 |
| 11                           | -26,01 | 157,17 |
| S5 l=-1,342 мм Δ=-8,879 град |        |        |
| Точка №                      | z', мм | г', мм |
| 1                            | 25,72  | 157,24 |
| 2                            | 26,06  | 166,06 |
| 3                            | 23,61  | 174,38 |
| 4                            | 18,68  | 181,12 |
| 5                            | 11,95  | 185,43 |
| 6                            | 4,31   | 186,78 |
| 7                            | -3,42  | 185,58 |
| 8                            | -10,49 | 182,42 |
| 9                            | -16,7  | 177,43 |

|                               |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|
| 10                            | -21,6  | 170,89 |
| 11                            | -24,82 | 163,16 |
| S6 l=-2,683 мм Δ=-17,751 град |        |        |
| Точка №                       | z', мм | r', мм |
| 1                             | 26,05  | 155,27 |
| 2                             | 26,98  | 164,04 |
| 3                             | 25,09  | 172,61 |
| 4                             | 20,63  | 179,85 |
| 5                             | 14,21  | 184,87 |
| 6                             | 6,67   | 186,96 |
| 7                             | -1,13  | 186,63 |
| 8                             | -8,41  | 184,26 |
| 9                             | -14,95 | 179,98 |
| 10                            | -20,29 | 174,05 |
| 11                            | -24,07 | 166,82 |

### 3.4.3 Початкова інструментальна поверхня

Початкова інструментальна поверхня фактично є обвідною для сукупності суміщених кругових проекцій  $P_{\Sigma}$  на проекції  $\Sigma$ .

Порядок знаходження початкової інструментальної поверхні:

- Викреслюємо систему координат інструмента  $Z_i R_i$
- Будуємо криву  $P_{\Sigma}$  для кожного січення, використовуючи координати точок, отриманих у минулому пункті
- Проводимо внутрішню обвідну для сукупності кривих  $P_{\Sigma}$ .

Отримана крива буде початковою інструментальною поверхнею.

Сукупність проекцій  $P_{\Sigma}$  та обвідна до них зображені на рисунку 3.6.

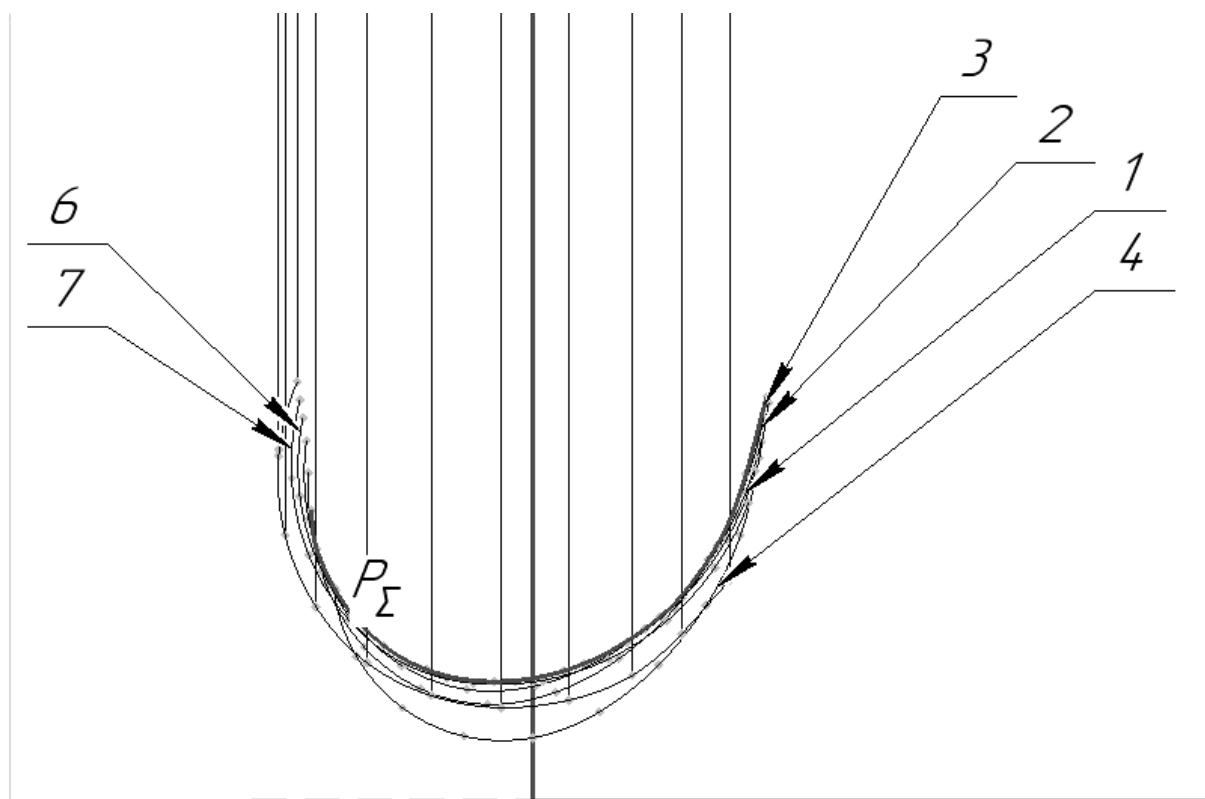


Рисунок 3.7 - Внутрішня обвідна до сукупності кривих  $P_{\Sigma}$

Крива  $P_{\Sigma}$  є початковою інструментальною поверхнею шліфувального круга, яким відбувається шліфування гвинтової канавки.

### 3.5 Аналітичне профілювання

#### 3.5.1 Параметри торцевого перерізу свердла

Для того, щоб зробити аналітичний розрахунок необхідно визначити координати точок профілю стружкової канавки в торцевому перерізі. Наш профіль поділемо на 30 рівних ділянок, тобто маємо координати 31 точки. Для зручності знайдемо координати точок в полярній системі координат (Рисунок 3.8). Центром системи координат є центр свердла. Маємо радіус-вектори до точок та кути між додатнім напрямком осі  $X$  та радіус – вектором. Ряд координат для точок представлений в таблиці 3.5. Також розрахуємо кут між додатнім напрямком осі  $X$  та дотичною до профілю в кожній точці торцевого перерізу та занесемо її в ту ж таблицю.

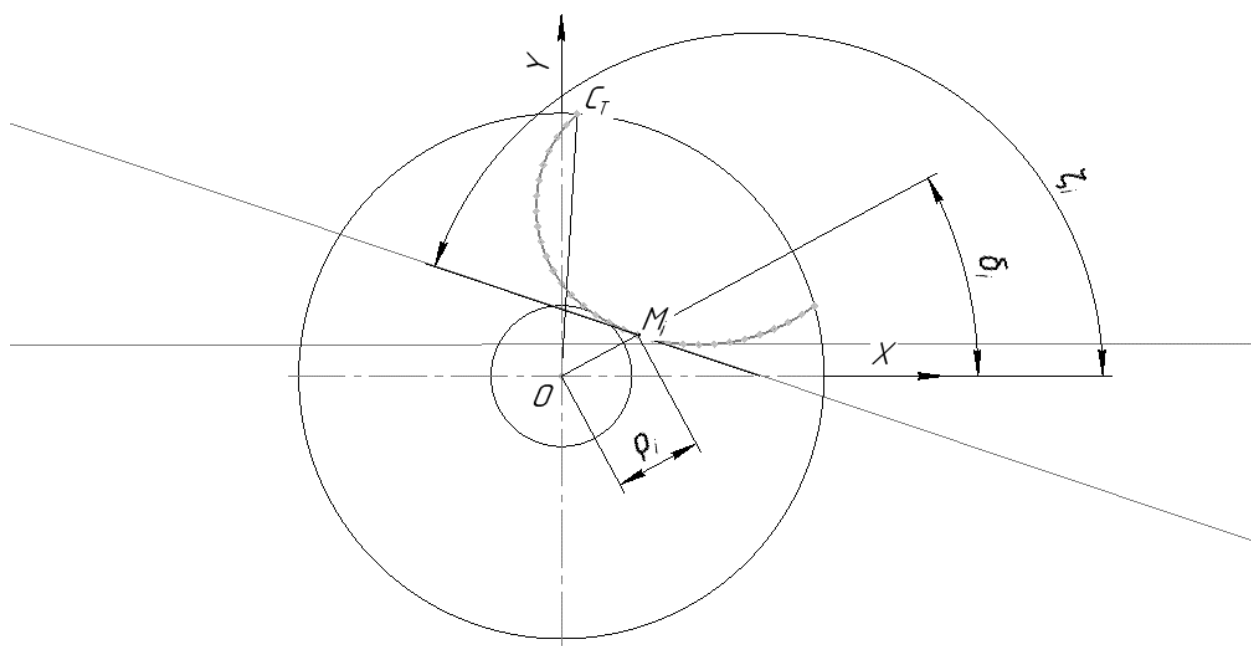


Рисунок 3.8 - Схема знаходження координат точок в полярній системі координат

Таблиця 3.5 - Координати точок профілю

| № точки         | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\rho$ , мм     | 5,000   | 4,780   | 4,540   | 4,290   | 4,030   | 3,750   | 3,470   |
| $\delta$ , град | 86,517  | 88,808  | 90,986  | 93,048  | 94,882  | 96,486  | 97,747  |
| $\zeta$ , град  | 42,571  | 49,561  | 56,608  | 63,598  | 70,646  | 77,693  | 84,683  |
| № точки         | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      |
| $\rho$ , мм     | 3,180   | 2,880   | 2,590   | 2,300   | 2,020   | 1,760   | 1,550   |
| $\delta$ , град | 98,663  | 99,007  | 98,663  | 97,288  | 94,538  | 89,840  | 82,850  |
| $\zeta$ , град  | 91,731  | 98,721  | 105,768 | 112,758 | 119,805 | 126,796 | 133,786 |
| № точки         | 15      | 16      | 17      | 18      | 19      | 20      | 21      |
| $\rho$ , мм     | 1,400   | 1,330   | 1,360   | 1,470   | 1,640   | 1,870   | 2,120   |
| $\delta$ , град | 72,995  | 60,848  | 48,243  | 37,128  | 28,419  | 22,002  | 17,533  |
| $\zeta$ , град  | 141,005 | 147,307 | 152,120 | 156,704 | 161,402 | 166,100 | 170,741 |
| № точки         | 22      | 23      | 24      | 25      | 26      | 27      | 28      |
| $\rho$ , мм     | 2,400   | 2,690   | 2,970   | 3,270   | 3,560   | 3,850   | 4,140   |
| $\delta$ , град | 14,668  | 12,720  | 11,803  | 11,345  | 11,345  | 11,803  | 12,376  |
| $\zeta$ , град  | 175,382 | 180,023 | 184,722 | 189,363 | 194,061 | 198,702 | 203,400 |



|                 |         |         |         |  |
|-----------------|---------|---------|---------|--|
| № точки         | 29      | 30      | 31      |  |
| $\rho$ , мм     | 4,430   | 4,720   | 5,000   |  |
| $\delta$ , град | 12,949  | 14,324  | 15,584  |  |
| $\zeta$ , град  | 208,041 | 212,682 | 217,380 |  |

### 3.5.2 Знаходження початкової інструментальної поверхні

Для знаходження початкової інструментальної поверхні інструмента, що оброблює гвинтову канавку, скористаємося кінематичним методом, відповідно до якого має виконуватись рівняння контакту:

$$\vec{n} \cdot \vec{v} = 0 \quad (3.7)$$

Де  $n$  - Нормаль до поверхні деталі  
 $v$  - Вектор швидкості

Нормаль до поверхні визначається, як вектор, що є добутком дотичного до профілю канавки в торцевому перерізі деталі вектора та вектора, дотичного до гвинтової лінії, що визначає траєкторію руху обраної точки на профілі канавки.

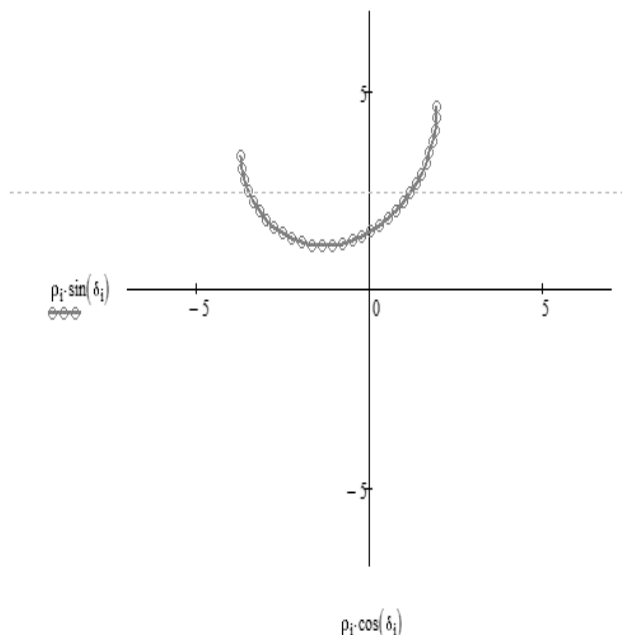


Рисунок 3.9 - Вихідний профіль канавки

Побудуємо профіль канавки з подальшим переведенням координат точок з полярної системи в декартову (Рисунок 3.9). Проводячи певні математичні розрахунки, вирішуємо рівняння контакту відносно параметра  $t$ . Послідовно підбираючи установчі параметри взаємного розташування інструмента та оброблюваної деталі, знайдемо профіль вихідної інструментальної поверхні. Критерієм вибору вихідного

профілю є плавність вихідної інструментальної поверхні. В результаті розрахунків було визначено наступні параметри для рівняння контакту(таблиця 3.6):

Таблиця 3.6 - Визначення параметра рівняння контакту

| № точки | $\rho$ , мм | $\delta$ , рад | $\zeta$ , рад | $q$     | $q_1$   | $q_2$   | $t_1$  | $t_2$   | $t$    |
|---------|-------------|----------------|---------------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|
| 1       | 5,000       | 2,410          | 5,785         | 53,404  | 150,877 | 31,062  | -0,384 | -4,473  | -0,384 |
| 2       | 4,780       | 2,450          | 4,907         | -12,851 | 41,595  | 54,547  | 0,236  | -0,998  | 0,236  |
| 3       | 4,540       | 2,488          | 5,030         | -8,264  | 59,774  | 55,454  | 0,124  | -1,202  | 0,124  |
| 4       | 4,290       | 2,524          | 5,152         | -3,621  | 76,812  | 55,185  | 0,046  | -1,438  | 0,046  |
| 5       | 4,030       | 2,556          | 5,275         | 1,166   | 92,76   | 53,665  | -0,013 | -1,716  | -0,013 |
| 6       | 3,750       | 2,584          | 5,398         | 5,679   | 107,188 | 50,914  | -0,054 | -2,051  | -0,054 |
| 7       | 3,470       | 2,606          | 5,520         | 10,069  | 119,896 | 46,976  | -0,087 | -2,465  | -0,087 |
| 8       | 3,180       | 2,622          | 5,643         | 14,178  | 130,902 | 41,867  | -0,112 | -3,014  | -0,112 |
| 9       | 2,880       | 2,628          | 5,765         | 17,722  | 139,867 | 35,720  | -0,131 | -3,785  | -0,131 |
| 10      | 2,590       | 2,622          | 5,888         | 21,129  | 146,945 | 28,589  | -0,148 | -4,992  | -0,148 |
| 11      | 2,300       | 2,598          | 6,010         | 23,891  | 151,864 | 20,686  | -0,161 | -7,180  | -0,161 |
| 12      | 2,020       | 2,550          | 6,133         | 26,194  | 154,705 | 12,071  | -0,172 | -12,644 | -0,172 |
| 13      | 1,760       | 2,468          | 6,255         | 27,865  | 155,396 | 3,039   | -0,180 | -50,955 | -0,180 |
| 14      | 1,550       | 2,346          | 6,377         | 29,320  | 154,023 | -6,232  | -0,189 | 24,904  | -0,189 |
| 15      | 1,400       | 2,174          | 6,503         | 30,491  | 150,444 | -15,863 | -0,199 | 9,682   | -0,199 |
| 16      | 1,330       | 1,962          | 6,613         | 30,287  | 145,536 | -24,367 | -0,201 | 6,174   | -0,201 |
| 17      | 1,360       | 1,742          | 6,697         | 28,442  | 140,747 | -31,088 | -0,194 | 4,721   | -0,194 |
| 18      | 1,470       | 1,548          | 6,777         | 26,320  | 135,447 | -37,363 | -0,185 | 3,810   | -0,185 |
| 19      | 1,640       | 1,396          | 6,859         | 24,328  | 129,285 | -43,481 | -0,178 | 3,151   | -0,178 |
| 20      | 1,870       | 1,284          | 6,941         | 22,073  | 122,419 | -49,373 | -0,169 | 2,648   | -0,169 |
| 21      | 2,120       | 1,206          | 7,022         | 19,922  | 114,969 | -54,817 | -0,161 | 2,258   | -0,161 |
| 22      | 2,400       | 1,156          | 7,103         | 17,663  | 106,886 | -59,928 | -0,152 | 1,936   | -0,152 |
| 23      | 2,690       | 1,122          | 7,184         | 15,434  | 98,213  | -64,620 | -0,144 | 1,663   | -0,144 |
| 24      | 2,970       | 1,106          | 7,266         | 13,678  | 88,776  | -68,815 | -0,139 | 1,429   | -0,139 |

|    |       |       |       |        |        |         |        |       |        |
|----|-------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|
| 25 | 3,270 | 1,098 | 7,347 | 11,638 | 78,971 | -72,593 | -0,131 | 1,219 | -0,131 |
| 26 | 3,560 | 1,098 | 7,429 | 9,926  | 68,498 | -75,867 | -0,127 | 1,030 | -0,127 |
| 27 | 3,850 | 1,106 | 7,510 | 8,249  | 57,684 | -78,641 | -0,123 | 0,856 | -0,123 |
| 28 | 4,140 | 1,116 | 7,592 | 6,673  | 46,349 | -80,947 | -0,119 | 0,692 | -0,119 |
| 29 | 4,430 | 1,126 | 7,673 | 5,166  | 34,869 | -82,754 | -0,116 | 0,537 | -0,116 |
| 30 | 4,720 | 1,150 | 7,754 | 3,517  | 22,965 | -84,166 | -0,109 | 0,382 | -0,109 |
| 31 | 5,000 | 1,172 | 7,836 | 2,102  | 10,711 | -85,081 | -0,106 | 0,232 | -0,106 |

Відповідно, координати профілю ППП в осьовому перерізі визначаються як [28]:

$$Z_i = pt \cos \varepsilon + \rho \cos(\delta + t) \sin \varepsilon \quad (3.8)$$

Де  $p$  - Гвинтовий параметр, що визначається як:

$$p = \frac{H}{2\pi} = 8.66 \text{ мм/рад}$$

$$R_i = \sqrt{(\rho \cos \varepsilon \cos(\delta + t) - pt \sin \varepsilon)^2 + (a - \rho \sin(\delta + t))^2} \quad (3.9)$$

Отже, маємо координати профілю початкової інструментальної поверхні. Занесемо отримані значення в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Координати профілю ППП

| № точки | $\rho$ , мм | $\delta$ , рад | $t$    | $Z_i$ , мм | $R_i$ , мм |
|---------|-------------|----------------|--------|------------|------------|
| 1       | 5,000       | 2,410          | -0,384 | -3,534     | 21,588     |
| 2       | 4,780       | 2,450          | 0,236  | -2,765     | 24,208     |
| 3       | 4,540       | 2,488          | 0,124  | -2,907     | 23,876     |
| 4       | 4,290       | 2,524          | 0,046  | -2,963     | 23,772     |
| 5       | 4,030       | 2,556          | -0,013 | -2,967     | 23,777     |
| 6       | 3,750       | 2,584          | -0,054 | -2,912     | 23,871     |
| 7       | 3,470       | 2,606          | -0,087 | -2,831     | 23,987     |
| 8       | 3,180       | 2,622          | -0,112 | -2,715     | 24,126     |
| 9       | 2,880       | 2,628          | -0,131 | -2,564     | 24,270     |
| 10      | 2,590       | 2,622          | -0,148 | -2,400     | 24,397     |

|    |       |       |        |        |        |
|----|-------|-------|--------|--------|--------|
| 11 | 2,300 | 2,598 | -0,161 | -2,208 | 24,513 |
| 12 | 2,020 | 2,550 | -0,172 | -1,998 | 24,610 |
| 13 | 1,760 | 2,468 | -0,180 | -1,767 | 24,687 |
| 14 | 1,550 | 2,346 | -0,189 | -1,543 | 24,730 |
| 15 | 1,400 | 2,174 | -0,199 | -1,317 | 24,744 |
| 16 | 1,330 | 1,962 | -0,201 | -1,063 | 24,734 |
| 17 | 1,360 | 1,742 | -0,194 | -0,787 | 24,685 |
| 18 | 1,470 | 1,548 | -0,185 | -0,511 | 24,610 |
| 19 | 1,640 | 1,396 | -0,178 | -0,251 | 24,515 |
| 20 | 1,870 | 1,284 | -0,169 | 0,011  | 24,379 |
| 21 | 2,120 | 1,206 | -0,161 | 0,255  | 24,229 |
| 22 | 2,400 | 1,156 | -0,152 | 0,490  | 24,041 |
| 23 | 2,690 | 1,122 | -0,144 | 0,710  | 23,838 |
| 24 | 2,970 | 1,106 | -0,139 | 0,892  | 23,629 |
| 25 | 3,270 | 1,098 | -0,131 | 1,074  | 23,385 |
| 26 | 3,560 | 1,098 | -0,127 | 1,225  | 23,142 |
| 27 | 3,850 | 1,106 | -0,123 | 1,352  | 22,881 |
| 28 | 4,140 | 1,116 | -0,119 | 1,467  | 22,611 |
| 29 | 4,430 | 1,126 | -0,116 | 1,574  | 22,340 |
| 30 | 4,720 | 1,150 | -0,109 | 1,629  | 22,016 |
| 31 | 5,000 | 1,172 | -0,106 | 1,671  | 21,714 |

Профіль отриманої початкової інструментальної поверхні представлено на рисунку 3.10:

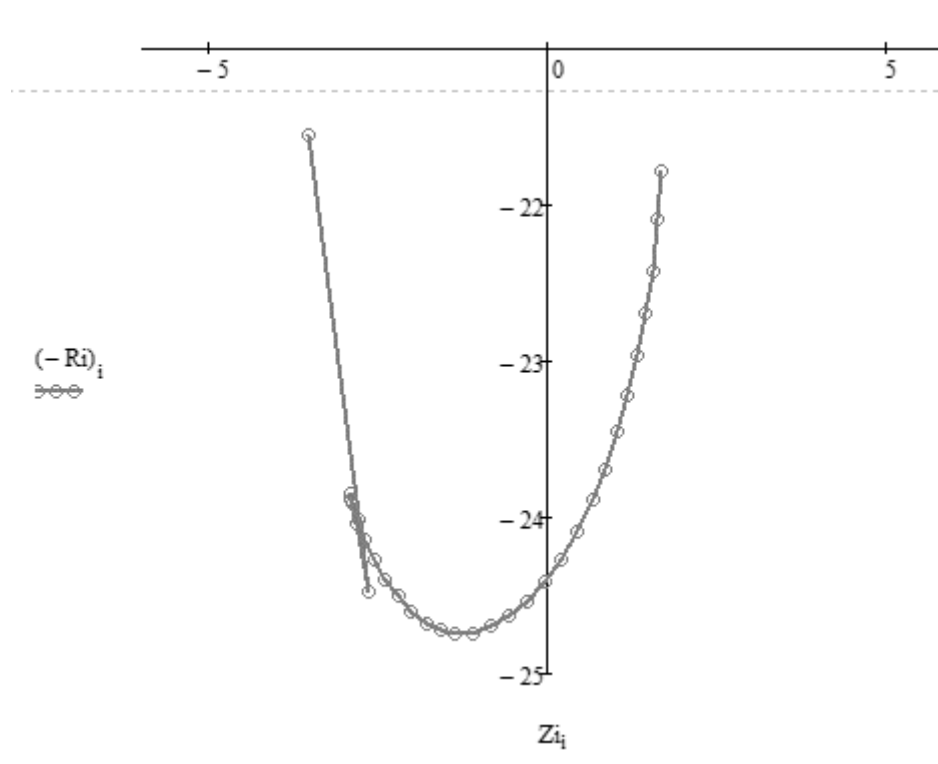


Рисунок 3.10 - Профіль початкової інструментальної поверхні

При аналізуванні результатів аналітичного профілювання було виявлено, що умови існування вихідної інструментальної поверхні інструмента частково порушуються, що свідчить про неможливість виконання даного профілю в тому вигляді, в якому він заданий.

### 3.5.3 Корегування профілю початкової інструментальної поверхні

Проте, в другому розділі було зазначено, що свердло, яке виготовляється має спинки. Отже зробимо висновок, що нас цікавить не повний профіль неробочої частини (на якій спостерігається порушення умова існування вихідної інструментальної поверхні).

Виконуючи повторно розрахунок, але вже не 31 точки, як в першому випадку, а 29, так як перші 2 точки не входять до реального профілю стружкової канавки в торцевому перерізі, отримуємо результат, що зображено на рисунку 3.11.

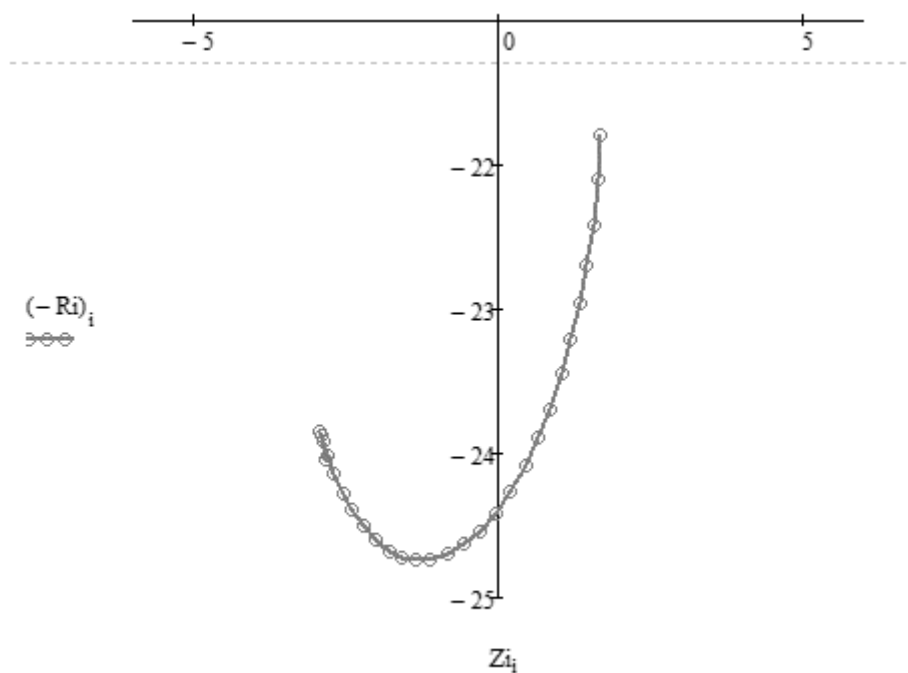


Рисунок 3.11 - Скорегований профіль початкової інструментальної поверхні.

Як бачимо, новий профіль початкової інструментальної поверхні має плавний характер, умови формоутворення виконуються.

Процес аналітичного розрахунку проводиться в середовищі Mathcad та наведений в додатку А.

## 4 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВЕРДЛА

### 4.1 Розробка технологічного маршруту виготовлення змінної головки

З метою підвищення якості проектної роботи, яка спрямована на розробку оптимальної технології виготовлення інструмента.

#### 4.1.1 Визначення вимог до виготовлення інструмента

Вихідні дані – показники (технологічні, експлуатаційні, економічні), що є логічними вимогами до виготовлення інструмента.

Основні вимоги до виготовленої деталі – твердосплавна головка (таблиця 4.1):

Таблиця 4.1 - Критерії оцінки інструмента

| №   | Критерій                                       |
|-----|--|
| A1  | Гострота різальної кромки;                     |
| A2  | Осьове биття різальної частини;                |
| A3  | Відсутність затирання по задній поверхні;      |
| A4  | Твердість робочої частини;                     |
| A5  | Точність виконання заднього кута;              |
| A6  | Стійкість інструмента;                         |
| A7  | Шорсткість передньої поверхні;                 |
| A8  | Шорсткість задньої поверхні;                   |
| A9  | Шорсткість стрічки;                            |
| A10 | Точність виконання хвостової частини;          |
| A11 | Підвищення довговічності інструменту;          |
| A12 | Геометричні відхилення профілю канавки;        |
| A13 | Граничні відхилення розмірів різальної кромки; |
| A14 | Точність розташування поверхонь інструменту;   |
| A15 | Точність базування в хвостовій частині;        |
| A16 | Підвищення екологічності виробництва;          |
| A17 | Підвищення терміну служби інструменту;         |
| A18 | Надійність інструменту;                        |
| A19 | Підвищення техніки безпеки;                    |
| A20 | Підвищення КВМ;                                |
| A21 | Зменшення енерговитрат;                        |
| A22 | Зменшення транспортних витрат;                 |
| A23 | Зменшення трудомісткості;                      |
| A24 | Збільшення продуктивності;                     |
| A25 | Зменшення собівартості;                        |

Поділимо дані вимоги на три окремих категорії: технологічні, експлуатаційні та економічні. Заносимо дані в таблицю 4.2:

Таблиця 4.2 - Категорії вимог

| № Категорії | Категорії вимог до інструмента | Позначення логічних умов                                    |
|-------------|--------------------------------|---|
| 1           | Технологічні                   | A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14 |
| 2           | Експлуатаційні                 | A15, A16, A17, A18, A19                                     |
| 3           | Економічні                     | A20, A21, A22, A23, A24, A25, A26                           |

#### 4.1.2 Аналіз існуючих рішень

Проведемо аналіз існуючих технологічних процесів. Користуючись довідниковою літературою виконаємо пошук технологічних процесів, які визначимо, як базові. Для спрощення процесу синтезу виключимо деякі технологічні операції (наприклад, контрольні), а для деяких – схожі за характером або суттю процесу об'єднаємо між собою (наприклад, чорнове та чистове шліфування об'єднаємо в один пункт технологічних операцій – шліфування).

Технологічний процес 1: Приготування твердосплавної суміші – пряме пресування заготовок – сушка заготовок – попереднє спікання з відгонкою пластифікатору – виготовлення зворотніх центрів – фрезерування гвинтових канавок – остаточне спікання заготовок – шліфування зворотніх центрів – безцентрове шліфування стрічок та хвостової частини – одноплщинне заточування головки по задній поверхні – магнітно-абразивна обробка – покриття – маркування – пакування.

Технологічний процес 2: Приготування твердосплавної суміші – пряме пресування заготовок – сушка заготовок – попереднє спікання з відгонкою пластифікатору- гідростатична допресовка заготовок - виготовлення зворотніх центрів – вишліфовування гвинтових канавок – остаточне спікання заготовок – шліфування зворотніх центрів шліфування гвинтових



каналок – вишліфовування спинки в центрах – двохплощинне заточування по задній поверхні – підшліфовування перемички по передній поверхні – полірування стружкових каналок – закруглення різальних кромek – покриття – маркування – пакування.

Технологічний процес 3: Безцентрове шліфування суцільних заготовок – вишліфовування центрів – вишліфовування хвостовика - вишліфовування гвинтових каналок – безцентрове шліфування стрічок та хвостовика – двохплощинне заточування по задній поверхні – підточка перемички по передній поверхні – полірування стружкових каналок – покриття - маркування – пакування.

Технологічний процес 4 – варіація технологічного процесу 3 з відмінностями у способі отримання заготовки: Відрізання заготовки з твердого сплаву – відрізання заготовки хвостовика підрізаання торця та проточування до діаметра зварювання хвостової частини – вишліфовування торця робочої частини – зварювання тертям – відпалювання – проточування зварного шва – центрування хвостовика та проточування по зовнішньому діаметру.

До вище перелічених технологічних процесів є альтернативні (або додаткові) технологічні операції, такі як: очищення деталі в ультразвуковій ванні, полірвуання стрічок.

Дані технологічні процеси було отримано без урахування кріплення змінної головки на хвостовій частині. Крутний момент від хвостової частини до головки передається завдяки уступам на посадковій поверхні, тому додамо варіанти обробки уступів:

- 1) Формування в пластичному стані;
- 2) Вишліфовування уступів;
- 3) Електроерозійна обробка уступів.

#### 4.1.3 Визначення узагальненого маршруту

Наступним етапом синтезу технологічного маршруту є створення узагальненого технологічного маршруту, що містить в собі всі можливі варіанти для виробництва. Операції заготівельного етапу виробництва:

- $Z_1$  - Приготування суміші;
- $Z_2$  - Пряма пресовка;
- $Z_3$  - Мундштучне пресування;
- $Z_4$  – Інжекційне пресування;
- $Z_5$  - Сушка заготовок;
- $Z_6$  - Попереднє спікання;
- $Z_7$  – Гідростатичне допресовування;
- $Z_8$  – Виготовлення зворотніх центрів;
- $Z_9$  - Фрезерування канавок;
- $Z_{10}$  - Шліфування канавок;
- $Z_{11}$  - Остаточне спікання;
- $Z_{12}$  - Відрізання заготовки робочої частини;
- $Z_{13}$  - Відрізання заготовки хвостовика;
- $Z_{14}$  - Безцентрове шліфування хвостовика;
- $Z_{15}$  - Шліфування торців робочої частини;
- $Z_{16}$  - Точіння торців хвостовика;
- $Z_{17}$  - Зварювання тертям;
- $Z_{18}$  – Проточування зварного шва;
- $Z_{19}$  – Центрування хвостовика;

Операції по механічній обробці та фінішні операції:

- $M_1$  - Шліфування хвостовика в розмір;
- $M_2$  - Безцентрове шліфування;
- $M_3$  - Шліфування центрів;
- $M_4$  - вишліфовування канавок;
- $M_5$  - Безцентрове шліфування стрічок і хвостовика;

- М<sub>6</sub> - Шліфування стрічок і хвостовика в центрах;
- М<sub>7</sub> - Вишліфовування спинок;
- М<sub>8</sub> - Шліфування посадочного торця;
- М<sub>9</sub> - Електроерозійна обробка уступів;
- М<sub>10</sub> - Вишліфовування уступів;
- М<sub>11</sub> - Вишліфовування лиски на хвостовику;
- М<sub>12</sub> – Заточка задньої поверхні по одній площині;
- М<sub>13</sub> – Заточка задньої поверхні по двох площинах;
- М<sub>14</sub> - Підточування перемички;
- М<sub>15</sub> - Заточування допоміжної задньої поверхні;

Технологічні операції підвищення технологічних показників інструмента, маркування, пакування:

- П1 - Полірування канавок;
- П2 - Полірування стрічок на безцентровому верстаті;
- П3 – магнітно-абразивна обробка;
- П4 - Нанесення зносостійкого покриття;
- П5 - Очищення в ультразвукової ванні;
- П6 – Маркування;
- П7 – Пакування.

На базі послідовності технологічних операцій було побудовано граф узагальненого технологічного маршруту, що представлено на рисунку 4.1.

Даний граф є орієнтованим, має односторонній напрямок (згори-вниз). Існує дві початкових гілки, тобто методи, якими отримується заготовка для деталі.

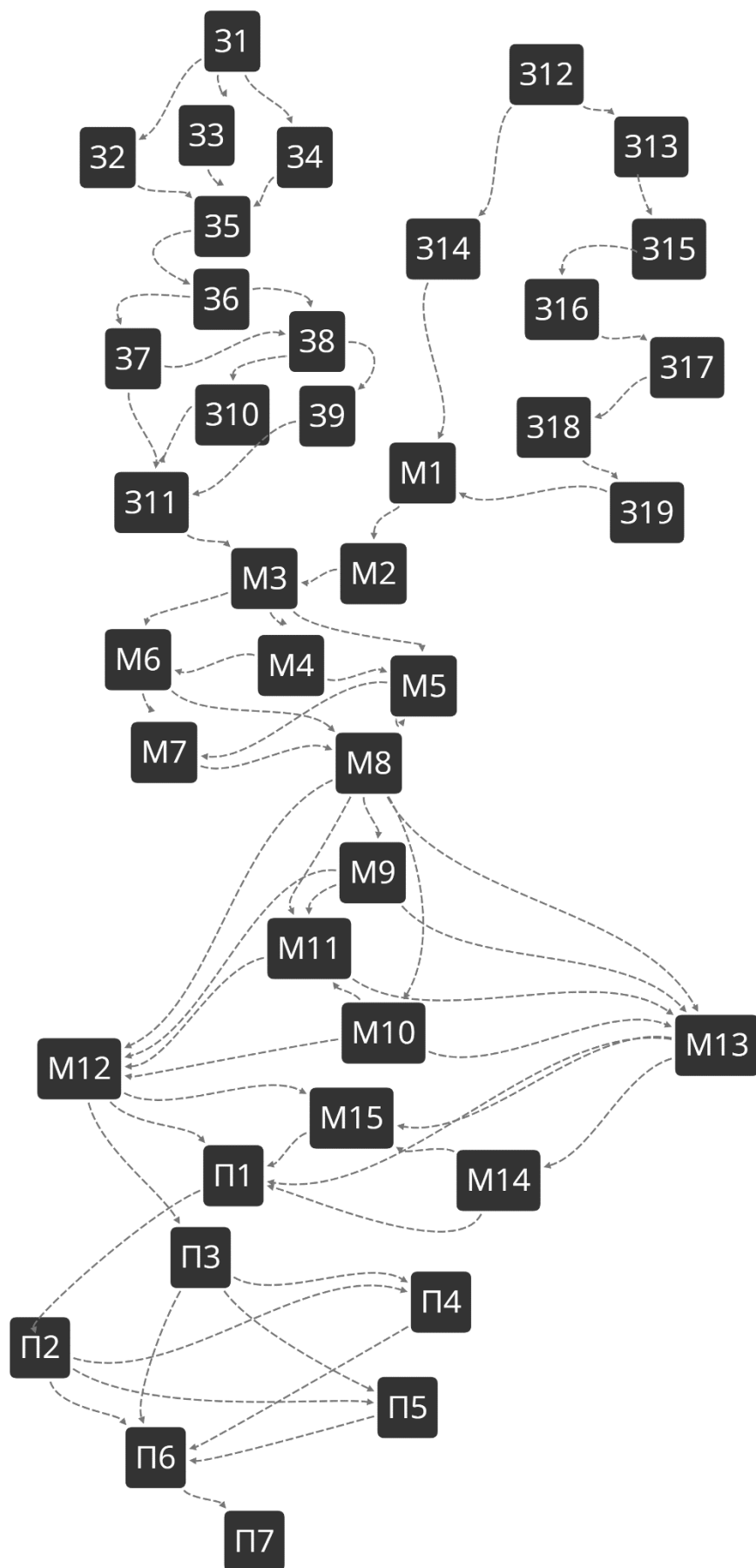


Рисунок 4.1 - Візуалізація графа узагальненого технологічного процесу виготовлення змінної головки.

Проаналізуємо задовільнення критеріям кожної з операцій базових маршрутів. З метою виконання цього процесу побудуємо логічну матрицю, де кожна строка відповідає операції, а стовпчик – критеріям. Якщо операція задовільняє критерію – на перетині їх стрічки та стовпчика вписуємо значення «1». В протилежному випадку призначаємо значення «0». Результат аналізу задовільнення операцій критеріям подано в додатку Б.

#### 4.1.4 Синтез оптимального технологічного маршруту

Основним критерієм вибору оптимального технологічного маршруту є досягнення максимальної потужності отриманого технологічного процесу. Потужність технологічного процесу визначається, як відношення суми виконання технологічних критеріїв до кількості операцій даного технологічного процесу [32]:

Розраховувати оптимальний маршрут вручну майже неможливо, так як кількість можливих маршрутів для даного узагальнюючого графа становить 7920 потенційно можливих варіантів. З метою спрощення вирішення даної задачі, приблїгнемо до обчислювальної потужності сучасних персональних комп'ютерів.

На сьогоднішній день існує досить велика кількість алгоритмів обходження графів. Найбільш доцільним для вирішення задачі пошуку оптимального шляху між вершинами графа є алгоритм Едсгера Дейкстри [33], результатом якого є знаходження найкоротшого шляху від даної вершини графа до всіх інших вершин.

На відміну від алгоритма Дейкстри, результатом реалізації якого є найкоротша відстань від однієї вершини графа до всіх інших, критерієм пошуку встановимо саме потужність шляху відповідно до [32]. Вагові одиниці встановимо не на шлях, а на вершини графа.

Дещо перебудуємо граф для можливості реалізації його на мові програмування Python 3.8.3. В оригінальній моделі графа існує 2 точки початку: 31 та 312. Побудуємо додатково точку 30, яка не буде операцією,

проте зможе пов'язати між собою ці точки. Також, це необхідно, так як наш граф є направленим, через що у випадку коли ми будемо шукати шляхи, наприклад від точки 31, програма дасть помилку, так як не зможе знайти шляхи від цієї точки до будь-якої іншої у графі. При проходженні кожної наступної точки графа, у випадку розгалуження графа, буде обиратися саме та, сумарна потужність шляху якої від початкової точки до даної буде максимальна. Фактично, даний алгоритм базується на алгоритмі Флойда-Уоршала, проте зі змінним критерієм вибору вершин. Алгоритм представлений на Рисунку 4.2.

Результатом написання програми, представлено в додатку В став наступний маршрут:

31 → 33 → 35 → 36 → 37 → 311 → М3 → М6 → М8 → М11 → М13 → М14 → М15 → П1 → П2 → П4 → П6 → П7

Потужність даного маршруту становить 2,895.

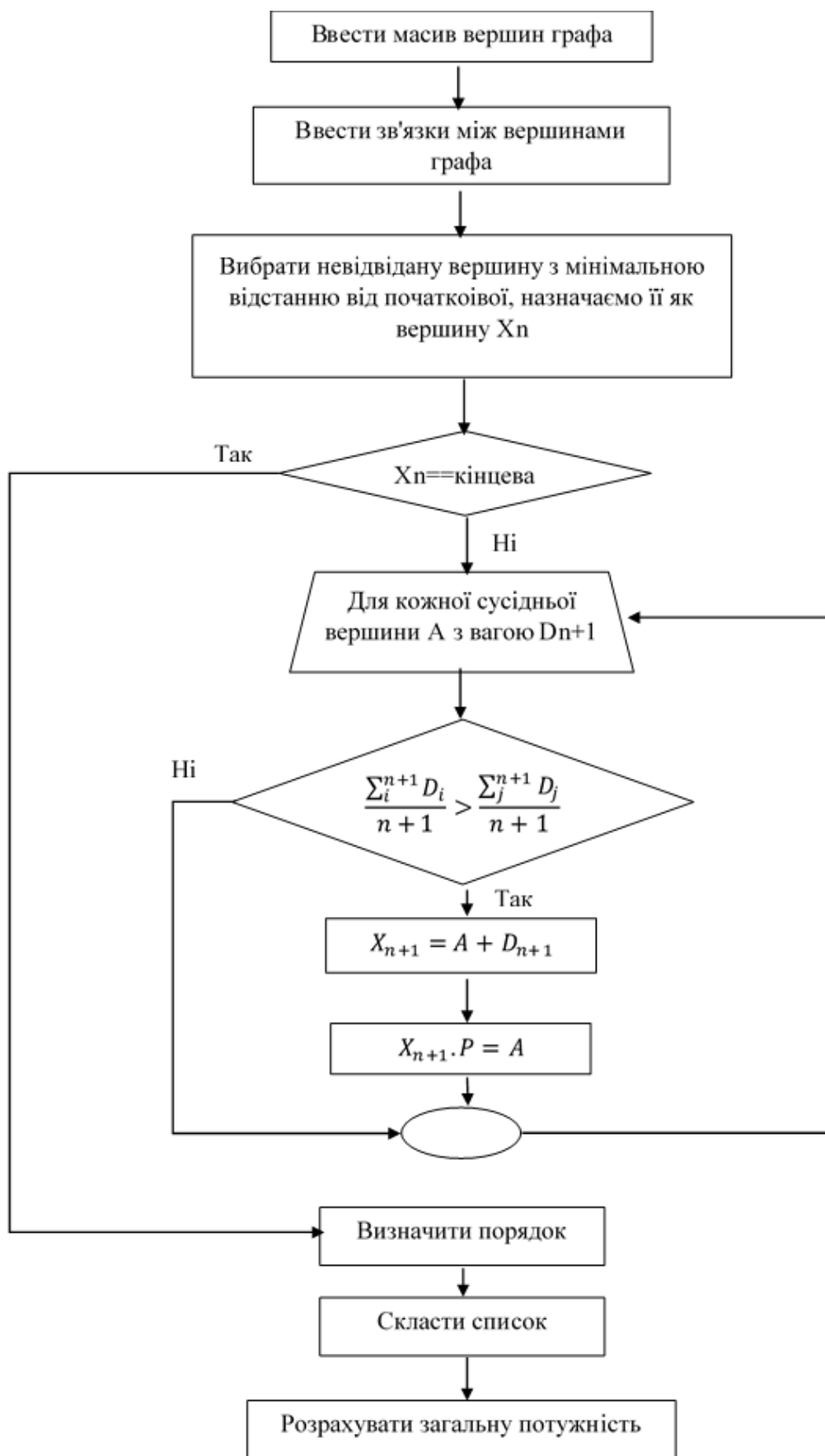


Рисунок 4.2 - Блок-схема реалізації алгоритму знаходження оптимального маршрута

#### 4.1.4 Порівняння результатів та потужностей розглянутих технологічних процесів

Результати, отримані в попередніх пунктах, зведемо в таблиці 4.3 – 4.6.

Таблиця 4.3. Потужність технологічного процесу M1

| № Операції | Технологічний процес M1                      | Показники |       |       |        |
|------------|--|-----------|-------|-------|--------|
|            |  | Тех.      | Експ  | Екон  | Всього |
| 1          | Приготування твердосплавної суміші           | 3         | 1     | 1     | 5      |
| 2          | Пряме пресування                             | 2         | 1     | 1     | 4      |
| 3          | Сушка  | 0         | 0     | 0     | 0      |
| 4          | Попереднє спікання                           | 0         | 0     | 0     | 0      |
| 5          | Зворотні центри                              | 2         | 0     | 0     | 2      |
| 6          | Фрезерування канавок                         | 1         | 0     | 1     | 2      |
| 7          | Остаточне спікання                           | 0         | 0     | 0     | 0      |
| 8          | Шліфування центрів                           | 1         | 0     | 0     | 1      |
| 9          | Б.ц. шліф.стрічок та хвостовика проф. загот. | 4         | 0     | 0     | 4      |
| 10         | Одноплощинне заточування                     | 2         | 0     | 1     | 3      |
| 11         | МАО  | 4         | 1     | 0     | 5      |
| 12         | Покриття                                     | 2         | 1     | 0     | 3      |
| 13         | Маркування                                   | 0         | 0     | 0     | 0      |
| 14         | Пакування                                    | 0         | 0     | 0     | 0      |
|            | $\sum C_{ij}$                                | 21        | 4     | 4     | 29     |
|            | $N_i$  | 1,5       | 0,286 | 0,286 | 2,071  |

Таблиця 4.4 - Потужність технологічного процесу M2

| № Операції | Технологічний процес M2                        | Показники |       |       |        |
|------------|--|-----------|-------|-------|--------|
|            |  | Тех.      | Експ. | Екон. | Всього |
| 1          | Приготування твердосп. суміші                  | 3         | 1     | 1     | 5      |
| 2          | Пряме пресування                               | 2         | 1     | 1     | 4      |
| 3          | Сушка  | 0         | 0     | 0     | 0      |
| 4          | Попереднє спікання                             | 0         | 0     | 0     | 0      |
| 5          | Гідростатичне допресування                     | 3         | 3     | 2     | 8      |
| 6          | Зворотні центри                                | 2         | 0     | 0     | 2      |
| 7          | Шліфування гвинтових канавок попер. Спеч загот | 1         | 0     | 0     | 1      |
| 8          | Остаточне спікання                             | 0         | 0     | 0     | 0      |
| 9          | Шліфування центрів                             | 1         | 0     | 0     | 1      |
| 10         | Вишліфовування канавок                         | 2         | 0     | 0     | 2      |



|    |                                |              |              |              |              |
|----|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 11 | Шліфування стрічок в центрах   | 4            | 0            | 0            | 4            |
| 12 | Двохплощинне заточування       | 6            | 0            | 0            | 6            |
| 13 | Підточка перемички             | 1            | 1            | 0            | 2            |
| 14 | Полірування стружкової канавки | 5            | 0            | 0            | 5            |
| 15 | Закруглення різальних кромок   | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 16 | Покриття                       | 2            | 1            | 0            | 3            |
| 17 | Маркування                     | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 18 | Пакування                      | 0            | 0            | 0            | 0            |
|    | $\sum C_{ij}$                  | 32           | 7            | 4            | 43           |
|    | $N_i$                          | <b>1,778</b> | <b>0,389</b> | <b>0,222</b> | <b>2,389</b> |

Таблиця 4.5 - Потужність маршруту М3

| № Операції | Технологічний процес М3                      | Показники    |              |              |              |
|------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
|            |  | Тех.         | Експ.        | Екон.        | Всього       |
| 1          | Відрізання заготовки                         | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 2          | Б.ц. шліф. суцільних заготовок               | 3            | 1            | 2            | 6            |
| 3          | Шліфування центрів                           | 1            | 0            | 0            | 1            |
| 4          | Вишліфовування гвинтових канавок             | 2            | 0            | 0            | 2            |
| 5          | Вишліфовування спинки                        | 2            | 0            | 0            | 2            |
| 6          | Б.ц. Шліф. Стрічок та хвостовика проф. Загот | 4            | 0            | 0            | 4            |
| 7          | Двохплощинне заточування                     | 6            | 0            | 0            | 6            |
| 8          | Підточка перемички                           | 1            | 1            | 0            | 2            |
| 9          | Полірування стружкових канавок               | 5            | 0            | 0            | 5            |
| 10         | Покриття                                     | 2            | 1            | 0            | 3            |
| 11         | Маркування                                   | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 12         | Пакування                                    | 0            | 0            | 0            | 0            |
|            | $\sum C_{ij}$                                | 26           | 3            | 2            | 31           |
|            | $N_i$  | <b>2,167</b> | <b>0,250</b> | <b>0,167</b> | <b>2,583</b> |

Таблиця 4.6 - Потужність технологічного процесу М4

| № Операції | Технологічний процес М4             | Показники |       |       |        |
|------------|-------------------------------------|-----------|-------|-------|--------|
|            |                                     | Тех.      | Експ. | Екон. | Всього |
| 1          | Відрізання твердосплавної заготовки | 0         | 0     | 1     | 1      |
| 2          | Відрізання заготовки хвостовика     | 0         | 0     | 1     | 1      |

|    |  |              |              |              |              |
|----|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 3  | Шліфування торців робочої частини            | 2            | 0            | 1            | 3            |
| 4  | Точіння торців хвостовика                    | 0            | 0            | 1            | 1            |
| 5  | Зварювання тертям                            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 6  | Відпал                                       | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 7  | Проточування зварного шва                    | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 8  | Центрування хвостовика                       | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 9  | Шліфування центрів                           | 1            | 0            | 0            | 1            |
| 10 | Вишліфовування гвинтових канавок             | 2            | 0            | 0            | 2            |
| 11 | Вишліфовування спинки                        | 2            | 0            | 0            | 2            |
| 12 | Б.ц. Шліф. Стрічок та хвостовика проф. Загот | 4            | 0            | 0            | 4            |
| 13 | Двохплощинне заточування                     | 6            | 0            | 0            | 6            |
| 14 | Підточка перемички                           | 1            | 1            | 0            | 2            |
| 15 | Полірування стружкових канавок               | 5            | 0            | 0            | 5            |
| 16 | Покриття                                     | 2            | 1            | 0            | 3            |
| 17 | Маркування                                   | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 18 | Пакування                                    | 0            | 0            | 0            | 0            |
|    | $\sum C_{ij}$                                | 25           | 2            | 4            | 31           |
|    | $N_i$  | <b>1,389</b> | <b>0,111</b> | <b>0,222</b> | <b>1,722</b> |

Зведемо розраховані дані в порівняльну діаграму, зображену на рисунку 4.3.

Як видно з даної діаграми, технологічний маршрут, що було синтезовано, перевищує всі розглянуті маршрути по показникам. За технологічними показниками найкращі показники спостерігаються на технологічному маршруті МЗ, що базується на обробці монолітної твердосплавної заготовки.

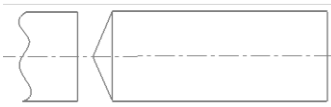
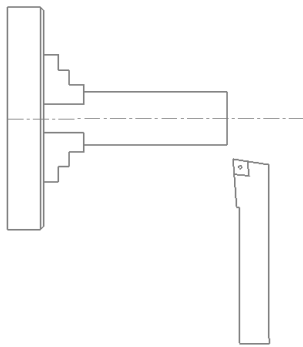
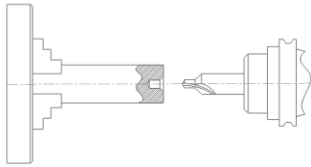


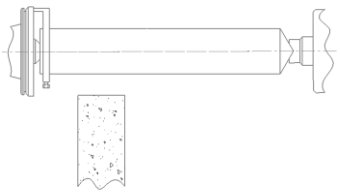
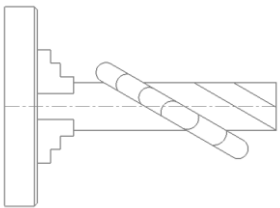
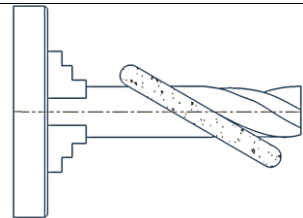
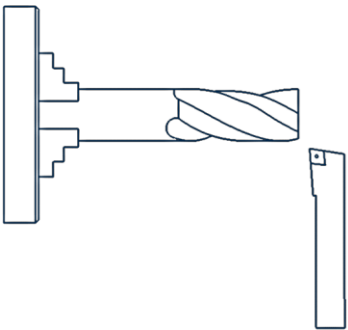
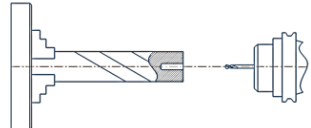
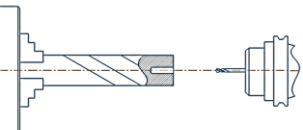
Рисунок 4.3 - Порівняння потужностей технологічних маршрутів між собою та з синтезованим маршрутом.

## 4.2 Технологічний маршрут виготовлення корпусу свердла

Для виготовлення корпусу свердла модифікуємо типовий технологічний процес по виготовленню монолітний свердел [42]. Отже, створимо технологічний маршрут виготовлення корпусу свердла (таблиця 4.7):

Таблиця 4.7 - Маршрут оброблення корпусу свердла

| № операції | Операція   | Верстат                              | Інструмент                  | Ескіз операції  |
|------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|---|
| 005        | Відрізна: відрізати заготовку з утворенням кута 120 град з однієї сторони і прямим – з іншої | Вертикально-відрізний автомат МФ-327 | Різець відрізний            |   |
| 010        | Галтувальна  | Галтувальний барабан                 | -                           | -   |
| 015        | Токарна: точити заготовку на прохід, підрізати торець  | Верстат токарно-гвинторізний 16K20Ф3 | Прохідний, підрізний різець |  |
| 020        | Центрувальна: виготовлення центрального отвору зі сторони хвостовика                         | Верстат токарно-гвинторізний 16K20Ф3 | Свердло центрове тип А      |  |

|     |   |                                       |                                 |  |
|-----|---|---------------------------------------|---------------------------------|--|
| 025 | Шліфувальна: шліфувати хвостовик, шліфувати робочу частину із утворенням зворотної конусності | Круглошліфувальний напівавтомат 3А151 | Круг 24А 25-16СМ-СТ2            |         |
| 030 | Фрезерна: фрезерувати стружкові канавки   | Автомат 3657 [42]                     | Фреза дискова фасонна           |         |
| 035 | Шліфувальна: вишліфовування спинок  | Автомат 3657                          | Круг 63С-25-16Н СМ1-7К5         |        |
| 040 | Токарна: підрізати торець робочої частини   | Верстат токарно-гвинторізний 16К20Ф3  | Різець відігнутий               |       |
| 045 | Свердлильна: свердлити отвір під змінну головку   | Верстат токарно-гвинторізний 16К20Ф3  | Сверло спіральне                | <br>+ |
| 050 | Розгортувальна: розгорнути отвір під змінну головку   | Верстат токарно-гвинторізний 16К20Ф3  | Розгортка машинна d=2 мм HSS-Co |       |

|     |  |   |   |   |
|-----|--|---|---|---|
| 045 | Фрезерна:<br>фрезерувати<br>заниження<br>під<br>посадковий<br>розмір<br>змінної<br>головки | Вертстат<br>токарно-<br>фрезерний<br>GMTK HR800 | Фреза<br>кінцева<br>твердоспла<br>вна d=2 мм      |    |
| 050 | Фрезерна:<br>фрезерувати<br>заниження<br>під<br>кріплення<br>змінної<br>головки            | Вертстат<br>токарно-<br>фрезерний<br>GMTK HR800 | Фреза<br>кутова<br>твердоспла<br>вна              |    |
| 055 | Свердлильна<br>: свердли<br>отвір під<br>упорний<br>гвинт                                  | Вертстат<br>токарно-<br>фрезерний<br>GMTK HR800 | Свердло<br>спіральне<br>твердоспла<br>вне 1,75 мм |   |
| 060 | Різьбонарізн<br>а: нарізанні<br>нарізі під<br>упорний<br>гвинт                             | Вертстат<br>токарно-<br>фрезерний<br>GMTK HR800 | Мітчик<br>машинний<br>M2                          |  |
| 065 | Термічна   | -   | -   | -   |
| 070 | Маркування   | -   | -   | -   |
| 075 | Пакування  | -   | -   | -   |

### 4.3 Розрахунок припусків на механічну обробку

Деталь «корпус свердла» виготовляється з прутка. Одним із найважливіших конструктивних елементів даної деталі є хвостовик, від точності виконання якого залежить весь подальший процес виготовлення корпусу свердла. Хвостовик має циліндричну форму та розмір  $10h7(0-0.015)$

Заготовка уявляє собою калібрований круглий пруток відповідно до ГОСТ 7417-57, що виготовлений зі сталі 45 з якістю поверхні групи Б, нагартований по ГОСТ 1051-73. Попереднє кодування заготовки виглядає наступним чином (одним із результатів розрахунків припусків буде визначено діаметр заготовки для даної деталі):

$$\text{Круг } \frac{10(5) \text{ ГОСТ } 7417 - 57}{45 - Б - Н \text{ ГОСТ } 1051 - 73}$$

Технологічний маршрут обробки складається з чотирьох переходів: чистове обточування чторнового та чистового, чорнове та чистове шліфування. Відповідно до [6] знаходимо значення  $T$  (20, 15, 20, 15 мкм відповідно) та  $R_z$  (30, 15, 10, 3,2 мкм відповідно)

Просторові відхилення каліброваного прокату при обробці в центрах (рисунок 4.4), тому відповідно:

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 67   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

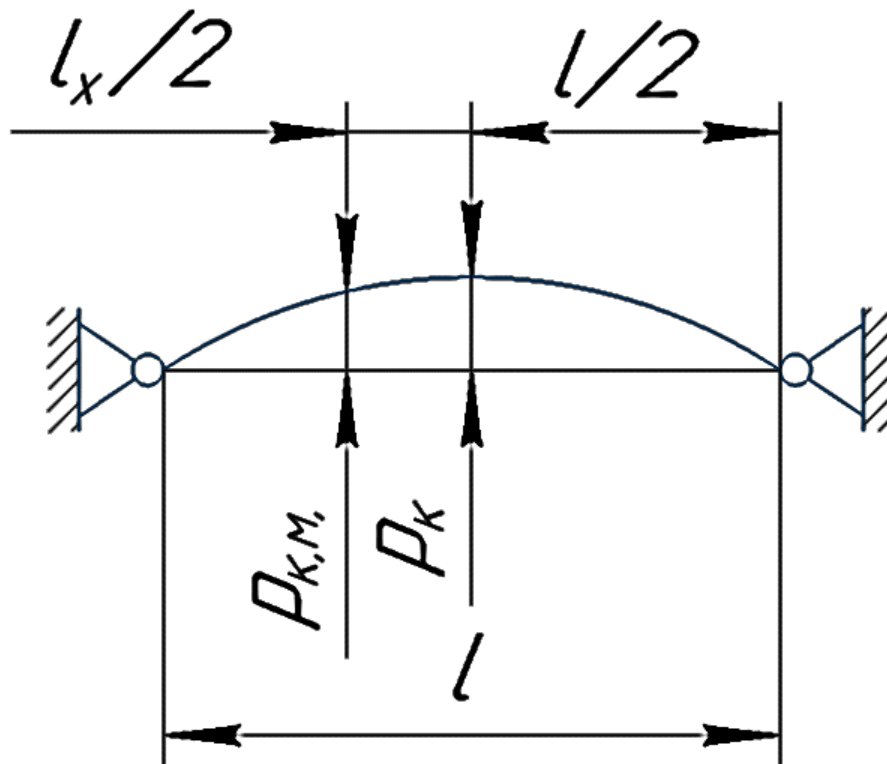


Рисунок 4.4 - Відхилення кривизни каліброваного прутка при закріпленні його в центрах [6]

Максимальна кривизна:

$$p_K = \Delta_K l \quad (4.1)$$

Максимальна місцева кривизна визначається як:

$$p_{K.M} = \frac{\Delta_K (l^2 - l_x^2)}{l(1 + 4\Delta_K^2)} \quad (4.2)$$

Де  $l$  довжина заготовки,  $l=90$  мм,  $l_x$  – відстань від центра заготовки до місцевого перерізу. Довжина циліндричного хвостовика становить  $l_x=45-40=5$  мм, в якому вимірюється кривизна,  $\Delta_K$  – питома кривизна прокату, що визначається, як мкм/мм. Відповідно,  $\Delta_K=3$  мкм/мм.

Маємо наступні значення:

- $p_K = 3 * 90 = 270$  мкм;
- $p_{K.M} = \frac{3(90^2 - 5^2)}{90(1 + 4*3^2)} \approx 240$  мкм.

Для наступних операцій даний показник множиться на коефіцієнт уточнення форми[6]  $p_{K.Mi} = p_{K.M} * K_y$ .



- Після чорнового точіння:  $p_{K.Mi} = 240 * 0.06 = 14.4$  мкм;
- Після чистового точіння  $p_{K.Mi} = 240 * 0.04 = 9,6$  мкм;
- Після попереднього шліфування:  $p_{K.Mi} = 240 * 0.01 = 2.4$  мкм;

Заготовка встановлюється в центрах з поводком. Відповідно до ГОСТ 14034-70, оброблюваному діаметру 10 мм відповідає діаметр центрового отвору 2 мм.

Похибка встановлення визначається, як сума векторів похибки базування та похибки затиску:

$$\varepsilon_B = \varepsilon_6 + \varepsilon_3 \quad (4.3)$$

При встановленні по центрових гніздах на жорсткому передньому центрі, похибка базування  $\varepsilon_6$  при обробці по діаметру дорівнює 0.

Похибка затиску при обробці в центрах визначається, як [15]:

$$\varepsilon_3 = C \left( \frac{P}{9,8} \right)^{0.5} \quad (4.4)$$

Де  $C$  – зміщення, що залежить від діаметру центрового отвору. Для діаметра центрового отвору 2 мм  $C=11,8$  мм.  $P$  – складова зусилля різання, для напрямку якої визначається зміщення. В даному випадку нас цікавить радіальна складова, так як вона безпосередньо впливає на зміщення. В жорстких центрах не дає похибки затиску в радіальному напрямку [30]. Отже, маємо, що  $\varepsilon_B = 0$ .

Мінімальний припуск при обробці наружніх поверхонь обертання визначається як [6]:

$$2z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{p_{i-1}^2 + \varepsilon_{Bi}^2}) \quad (4.5)$$

Для прутка

Чорнове точіння:  $2z_{\min} = 2 * (120 + 240 + 240) = 1200$  мкм;

Чистове точіння:  $2z_{\min} = 2 * (30 + 20 + 14,4) = 128,8$  мкм;

Чорнове шліфування:  $2z_{\min} = 2 * (15 + 15 + 9,6) = 79,2$  мкм;

Чистове шліфування:  $2z_{\min} = 2 * (10 + 20 + 2,4) = 64,8$  мкм.

Визначимо розрахунковий розмір:

Для чорнового шліфування:  $d_{p3} = 9.985 + 0.065 = 10,05$  мм:

Для чистового точіння:  $d_{p3} = 10,05 + 0.079 = 10,129$  мм:

Для чорнового точіння:  $d_{p3} = 10,129 + 0.129 = 10,258$  мм:

Для заготовки:  $d_{p3} = 10,258 + 1.2 = 11,458$  мм:

Отримуємо найменші граничні розміри, округлюючи розрахункові розміри в сторону збільшення їх значень до того ж знака, що і допуск на дані розміри. Найбільші граничні розміри знаходимо додаванням до найменших допусків від найменших граничних розмірів:

$$d_{max4} = 9.985 + 0.018 = 10,003 \text{ мм}$$

$$d_{max3} = 10.050 + 0.035 = 10,085 \text{ мм}$$

$$d_{max2} = 10.130 + 0.070 = 10,200 \text{ мм}$$

$$d_{max1} = 10.260 + 0.120 = 10,380 \text{ мм}$$

$$d_{maxзаг} = 11,460 + 0.240 = 11,680 \text{ мм}$$

Мінііальні граничні значення припусків дорівнюють різниці найбільших граничних розмірів, а максимальні – відповідно різниці найменших граничних розмірів переходів, що виконуються та попередніх переходів:

$$2Z_{max4}^{пр} = 10,085 - 10,003 = 0,082 \text{ мм} = 82 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min4}^{пр} = 10,05 - 9,985 = 0,065 \text{ мм} = 65 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max3}^{пр} = 10,2 - 10,085 = 0,115 \text{ мм} = 115 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min3}^{пр} = 10,13 - 10,05 = 0,08 \text{ мм} = 80 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max2}^{пр} = 10,38 - 10,20 = 0,18 \text{ мм} = 180 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min2}^{пр} = 10,26 - 10,13 = 0,13 \text{ мм} = 130 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max1}^{пр} = 11,68 - 10,38 = 1,3 \text{ мм} = 1300 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min1}^{пр} = 11,46 - 10,26 = 1,2 \text{ мм} = 1200 \text{ мкм}.$$

Загальны припуски визначаємо як:

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 70   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

$$2Z_{3min} = \sum_{i=1}^n 2Z_{mini} = 65 + 80 + 130 + 1200 = 1475 \text{ мкм};$$

$$2Z_{3max} = \sum_{i=1}^n 2Z_{maxi} = 82 + 115 + 180 + 1300 = 1677 \text{ мкм};$$

Найменший граничний розмір прутка:

$$D_{3min} = D_{min} + 2Z_{3min} = 9.985 + 1.475 = 11,46 \text{ мм}$$

Відповідно до ГОСТ 7417-57 приймаємо розмір прутка  $11,8^{-0,24}$  мм.

Результати розрахунку припусків занесемо до таблиці 4.8. Побудуємо схему зняття припусків (Рисунок 4.5).

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   |      |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   | 71   |

Таблиця 4.8 – Розрахунок припусків і граничних розмірів на обробку  
хвостовика свердла з розміром 10 h7

| Технологічні<br>переходи<br>обробки<br>елементарної<br>поверхні | Елементи припуску,<br>мкм |     |       |   | Мінімальний<br>припуск, мкм | Розрахунковий<br>розмір, мм | Граничні<br>розміри, мм |        | Граничні<br>значення<br>припусків, мкм |       |
|---|---------------------------|-----|-------|---|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------|--|-------|
|   | Rz                        | T   | p     | ε |                             |                             | dmin                    | dmax   | 2Zmin                                  | 2Zmax |
| Заготовка   | 120                       | 240 | 240,0 | 0 |                             | 11,458                      | 11,460                  | 11,680 |  |       |
| 1.Чорнове<br>точіння  | 30                        | 20  | 14,4  | 0 | 1200                        | 10,258                      | 10,260                  | 10,380 | 1200                                   | 1300  |
| 2.Чистове<br>точіння  | 15                        | 15  | 9,6   | 0 | 128,8                       | 10,129                      | 10,130                  | 10,200 | 130                                    | 180   |
| 3.Чорнове<br>шліфування   | 10                        | 20  | 2,4   | 0 | 79,2                        | 10,050                      | 10,050                  | 10,085 | 80                                     | 115   |
| 4.Чистове<br>шліфцвання   | 3,2                       | 15  | -     | - | 64,8                        | 9,985                       | 9,985                   | 10,003 | 65                                     | 82    |
|   |                           |     |       |   |                             |                             |                         | Σ      | 1475                                   | 1677  |

Заготовка:

Круг  $\frac{10(5) \text{ ГОСТ } 7417 - 57}{45 - \text{Б} - \text{Н ГОСТ } 1051 - 73}$

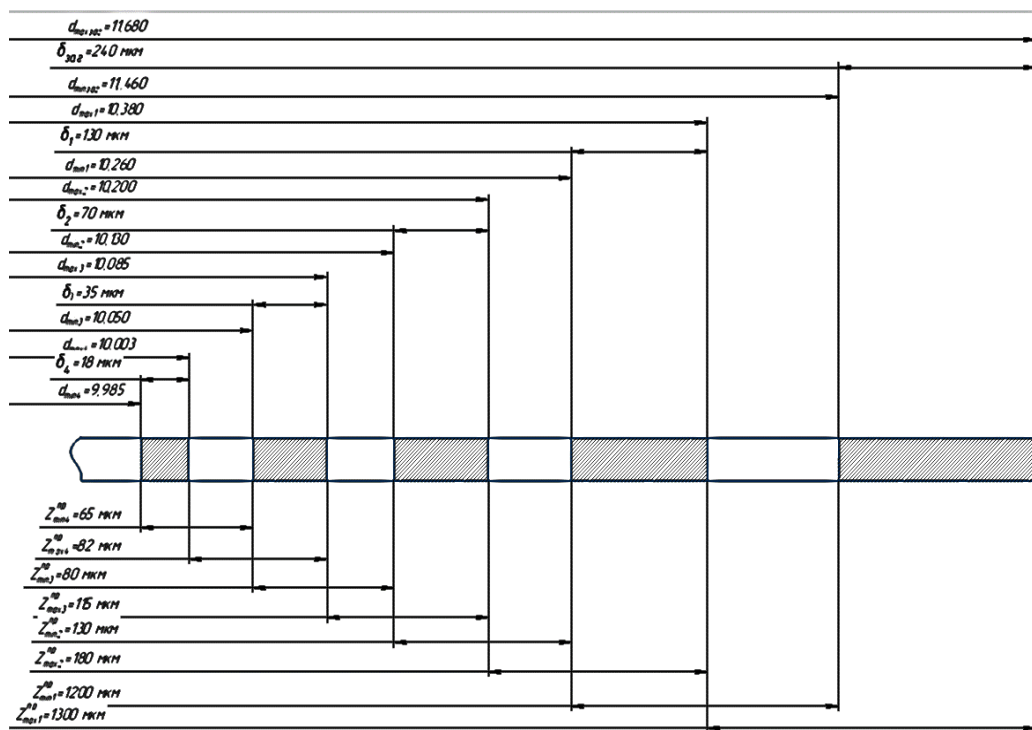


Рисунок 4.5. Карта міжопераційних припусків

#### 4.4 Розрахунок режимів різання

Розрахуємо режими різання для деяких технологічних операцій по виготовленню корпуса свердла. Матеріал – сталь 45,  $\sigma_B=530$  МПа, HB=180

Для операції чорнового точіння доцільно вибрати глибину різання  $t$  рівною припуску на обробку, тобто 0,6 мм. Спираючись на рекомендовані значення при виборі поздовжньої подачі  $s$  [16], приймаємо, що для діаметра оброблюваної деталі до 20 мм та розмірі державки різця 25x25 мм  $s=0,4$  мм/об. Швидкість різання при поздовжньому різанні визначається як:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v \quad (4.6)$$

Де  $T$  – середня стійкість інструмента при одноінструментній обробці. Значення  $T$  знаходяться в діапазоні 30-60 хв. Приймаємо  $T=45$  хв.

Значення коефіцієнтів приймаємо для обробки конструкційної вуглецевої сталі  $\sigma=750$  МПа (далі відбудеться поправка на сталь 45):

- $C_v = 350$
- $x = 0,15$
- $y = 0,35$
- $m = 0,2$

$K_v$  – поправочний коефіцієнт, на який домножується табличне значення швидкості різання.  $K_v$  визначається як (для одноінструментної обробки:

$$K_v = K_{Mv} K_{Pv} K_{Lv} \quad (4.7)$$

Де  $K_{Mv}$  - Коефіцієнт впливу матеріал заготовки.  
Визначається як:

$$K_{Mv} = \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{-1} = \frac{530}{750} = 0,707$$

$K_{Pv}$  - Коефіцієнт впливу стану поверхні заготовки.  
Для прокату  $K_{Pv} = 0,9$

$K_{Lv}$  - Коефіцієнт впливу інструментального матеріала. Для матеріалу T15K6  $K_{Lv} = 1,0$

Отже, швидкість різання

$$v = \frac{350}{45^{0,2} 0,6^{0,15} 0,4^{0,35}} * 0,707 * 0,9 * 1,0 = 154,7 \text{ м/с} \quad (4.8)$$

Приймаємо швидкість різання  $v = 150 \text{ м/с}$ .

В загальному вигляді сила різання при поздовжньому точінні визначається, як:

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^x s^y v^n K_p \quad (4.9)$$

Де  $C_p$  - Постійна, що знаходиться табличним методом.  
Для знаходження:

- Тангенційної сили  $P_z$ ,  $C_p=300$ ;
- Радіальної сили  $P_y$ ,  $C_p=243$ ;
- Осьової сили  $P_x$ ,  $C_p=339$

$x, y, n$  - Показники степені, що визначаються для:

- Тангенційної сили  $P_z$ ,  $x=1.0$ ;  $y=0,75$ ;  $n=-0.15$ ;
- Радіальної сили  $P_y$ ,  $x=0.9$ ;  $y=0,6$ ;  $n=-0.3$ ;
- Осьової сили  $P_x$ ,  $x=1.0$ ;  $y=0,5$ ;  $n=-0.4$

$K_p$  - Поправочний коефіцієнт

Поправочний коефіцієнт  $K_p$  враховує фактичні умови різання, визначається як добуток:

$$K_p = K_{Mp} K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp} \quad (4.10)$$

Де  $K_{Mp}$  - Коефіцієнт впливу матеріала заготовки.  
Визначається як:

$$K_{Mv} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{0.75} = \left( \frac{530}{750} \right)^{0.75} = 0,771$$

$K_{\varphi p}$  - Коефіцієнт впливу головного кута в плані. Для  $\varphi = 45^\circ$  коефіцієнт для всіх складових сил однаковий:  $K_{\varphi p} = 1,0$

$K_{\gamma p}$  - Коефіцієнт впливу переднього кута інструмента. Для різців з твердого сплаву при додатньому передньому куті 10 град для всіх складових сил однаковий:  $K_{\gamma p} = 1,0$ ;

$K_{\lambda p}$  - Коефіцієнт впливу кута нахилу головного леза. При куті в 5 град для:

- Тангенційної сили  $P_z$ ,  $K_{\lambda p} = 1,0$ ;
- Радіальної сили  $P_y$ ,  $K_{\lambda p} = 1,25$ ;
- Осьової сили  $P_x$ ,  $K_{\lambda p} = 0,85$

$K_{rp}$  - Коефіцієнт впливу радіуса при вершині різця.  
Для різців з твердого сплаву  $K_{rp} = 1,0$

Визначемо складові сили різання. Тангенційна сила  $P_z$ :

$$P_z = 10 * 300 * 0,6^{1,0} 0,4^{0,75} 160^{-0,15} * 0,771 = 326,03 \text{ Н} \quad (4.11)$$

Радіальна сила  $P_y$ :

$$P_y = 10 * 243 * 0,6^{0,9} 0,4^{0,6} 160^{-0,3} * 0,771 * 1,25 = 186,17 \text{ Н} \quad (4.12)$$

Осьова сила  $P_x$ :

$$P_x = 10 * 339 * 0,6^{1,0} 0,4^{0,5} 160^{-0,4} * 0,771 * 0,85 = 79,36 \text{ Н} \quad (4.13)$$

Визначаємо потужність поздовжнього різання, як:

$$N = \frac{P_z v}{1020 * 60} = \frac{326 * 160}{1020 * 60} = 0,85 \text{ кВт} \quad (4.14)$$

При виконанні операції свердління глибина різання  $t = \frac{D}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ мм}$ .

Відповідно до [16] для діаметра свердління та твердості по Віккерсу  $HV=180$ , подача  $s=0,08-0,10 \text{ мм/об}$ . Приймаємо  $s=0,1 \text{ мм/об}$ . Також, внаслідок того, що після свердління проводиться операція розгорткування отвору – вводимо поправочний коефіцієнт  $K_{os}=0,5$ ; внаслідок недостатньої жорсткості системи ВПД вводимо коефіцієнт  $K_{жс}=0,5$ . Отже,

$$s = s_{\text{таб}} K_{os} K_{жс} = 0,1 * 0,5 * 0,5 = 0,025 \text{ мм/об} \quad (4.15)$$

Швидкість різання при свердлінні визначається, як:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m s^y} K_v = \frac{7,0 * 2^{0,4}}{15^{0,2} * 0,025^{0,7}} * 0,707 = 50,2 \text{ м/хв} \quad (4.16)$$

Де  $C_v$  - Константа при свердлінні. Для подачі  $0,025 \text{ мм/об}$   $C_v = 7,0$

$q, y, m$  - Показники степені. Для подачі  $0,025 \text{ мм/об}$ :  
 $q=0,4$   $y=0,7$ ;  $m=0,2$

$T$  - Стійкість свердла, що оброблює отвір. Свердла зі швидкорізальної сталі діаметром до  $5 \text{ мм}$  мають середній період стійкості  $15 \text{ хв}$ .

$K_v$  - Загальний поправочний коефіцієнт, що визначається, як:

$$K_v = K_{Mv} K_{lv} K_{lv} = 0.707 * 1.0 * 1.0 = 0.707$$

$K_{lv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив глибини оброблюваного отвору на швидкість.  $l < 3D$ ,  $K_{lv} = 1.0$

Крутний момент та осьова сила при свердлінні визначаються наступними формулами:

$$M_{KP} = 10C_M D^q s^y K_p = 0,056 \text{ Н} \cdot \text{м}; P_O = 10C_p D^q s^y K_p = 79 \text{ Н} \quad (4.17)$$

- Де  $K_p$  - Коефіцієнт, що враховує умови обробки  $K_p = K_{Mp} = 0.771$
- $q, y$  - Показники степені. Для формули крутного моменту  $q = 2,0, y = 0,8$ ; для осьової сили  $q = 1,0, y = 0,7$
- $C_M$  - Константа для крутного моменту. Для швидкорізальної сталі  $C_M = 0,0345$
- $C_p$  - Константа для осьової сили. Для швидкорізальної сталі  $C_p = 68$

Визначаємо потужність різання при свердлінні, як:

$$N_c = \frac{M_{KP} n}{9750} = \frac{1000 M_{KP} v}{9750 \pi D} = 0.046 \text{ кВт} \quad (4.18)$$



## 5 КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ШЛІФУВАННЯ ГВИНТОВИХ КАНАВОК СВЕРДЛА

При аналізі рішень по пристосуванням для виконання шліфування гвинтової канавки, було виявлено, що більшість відомих пристосувань мають певні недоліки. Наприклад, рішення компанії Partner серії ВР-170 має широку сферу застосування в розрізі номінальних діаметрів та кутів нахилу гвинтової поверхні, що оброблюється, проте має важливий недолік, а саме високу вартість.

### 5.1 Аналіз поставленої задачі

Задача: Розробити пристосування для виконання операції шліфування гвинтової канавки свердла, що встановлюється на універсальні заточувальні верстати типу М40 [34] для шліфування гвинтових спіральних канавок при виготовленні інструменту.

Вхідними параметрами для проектування є:

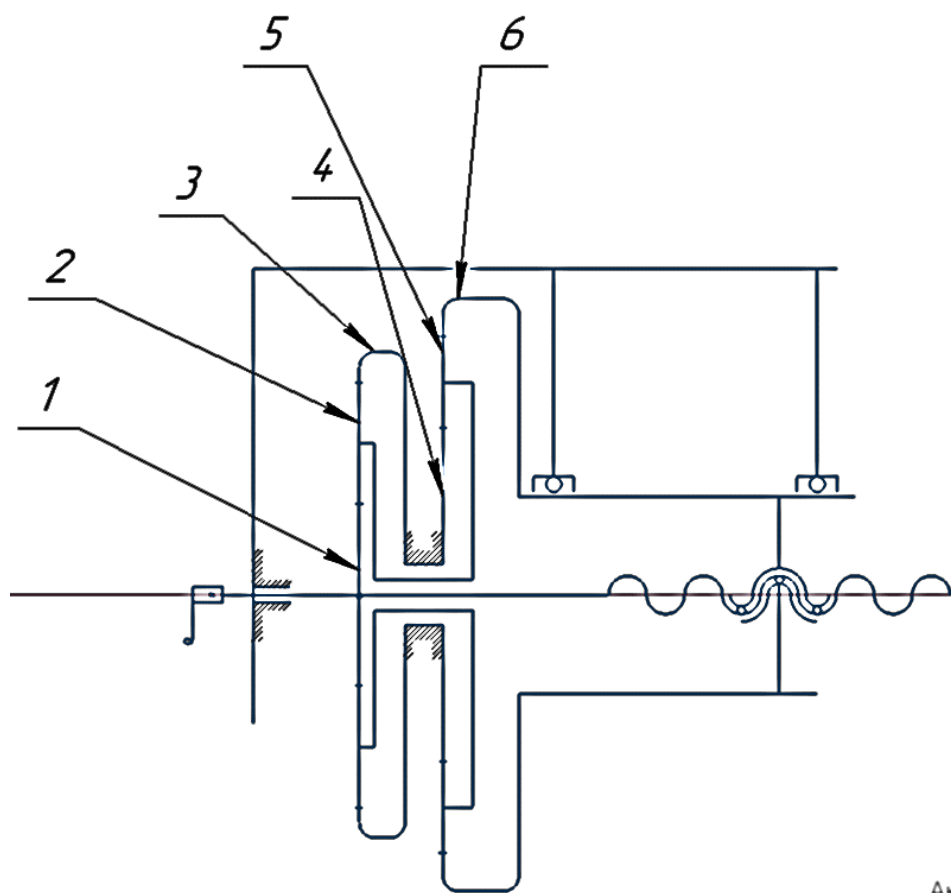
1. Діаметр свердла;
2. Крок гвинтової канавки;
3. Сила різання при виконанні операції шліфування;

Для виконання операції шліфування гвинтової канавки необхідно створити гвинтовий рух свердла відносно нерухомої точки на периферії круга. Приймаємо вісь шліфувального круга нерухомою. Тоді, рух, який необхідно створити в пристосуванні – комбінація обертання свердла навколо своєї осі та зворотньо-поступальний рух в осьовому напрямку.

### 5.2 Кінематична схема пристосування

Першим етапом в процесі конструювання пристосування є створення кінематичної схеми механізму. Механізм складається з двох кінематичних вузлів: вузол, що передає обертальний рух з його подальшою редукцією та вузол, що перетворює обертальний рух вала в поступовий рух гайки.

Було створено кінематичну схему пристосування пристосування (Рисунок 5.1):



Ак

Рисунок 5.1 - Кінематична схема виконавчого механізму пристосування

Обертання подається на вхідний вал, котрий приводить в рух зубчасте колесо 1 та гвинт ролик-гвинтової передачі. Колесо 1 є вхідним обертанням у двохступінчастому планетарному редукторі, метою якого є передача обертання на коронку, по якій ходить гайка ролик-гвинтової подачі.

При обертанні ручки приводиться в рух основний вал, на якому знаходиться привідне зубчасте колесо, яке прередає обертання через двоступінчастий планетарний редуктор на обертальну коронку, що обертається в підшипниках відносно нерухомого корпусу.. Всередині коронки розташована гайка ролик-гвинтової передачі, з'єднання між гайкою та поворотною коронкою – рухоме шлицьове. Тобто, при обертанні основного валу, гайка рухається прямолінійно в системі координат коронки. До гайки жорстко приєднується шток, на якому розташована цанговий

|     |      |          |        |      |                   |  |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|--|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 |  | Лист |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |  | 78   |

патрон, в якому закріплюється оброблюваний інструмент. Додатково, шток може бути оснащений ділильною головкою, як прставка із цанговим патроном та трюцем штока.

### 5.3 Вузол перетворення обертального руху в поступальний

Найпопулярнішим механізмом, що перетворює рух обертання в прямолінійний рух є шарико-гвинтова передача (ШГП). ШГП часто застосовується в авіабудуванні і ракетобудуванні для переміщення рульових поверхонь, а також в автомобілях, щоб приводити в рух рульову рейку від електромотора рульового управління. Найширший спектр застосування ШГП існує в прецизійному машинобудуванні, такому, як верстати з ЧПК, роботи, складальні лінії, встановлювачі компонентів, а також - в механічних пресах, термопластавтоматах та ін.

Протягом останніх трьох років досить швидко почала розвиватися індустрія, що є альтернативою до ШВП. Це – ролико-гвинтові передачі. Планетарні роликові гвинти, що працюють без рециркуляції, забезпечують високий рівень надійності, вантажопідйомності, швидкості та прискорення, термін служби та надійність для максимальних експлуатаційних характеристик.

При конструюванні пристосування було прийнято використати саме планетарну ролико-гвинтову передачу (Рисунок 5.2) з наступних міркувань:

- Роликові привідні гвинти набагато міцніші за кулькові гвинти та можуть витримувати великі ударні навантаження;
- Роликові гвинтові приводи вимагають дуже невеликого обслуговування. Кулькові підшипники, які треба міняти, відсутні. Повторне змащення, терміном 20 хвилин, здійснюється раз на 1-3 роки;

- Гвинт має значно більшу кількість точок контакту між деталями, ніж кулька, тим самим точність ролик-гвинтової передачі значно вища ніж кульково-гвинтова [35].

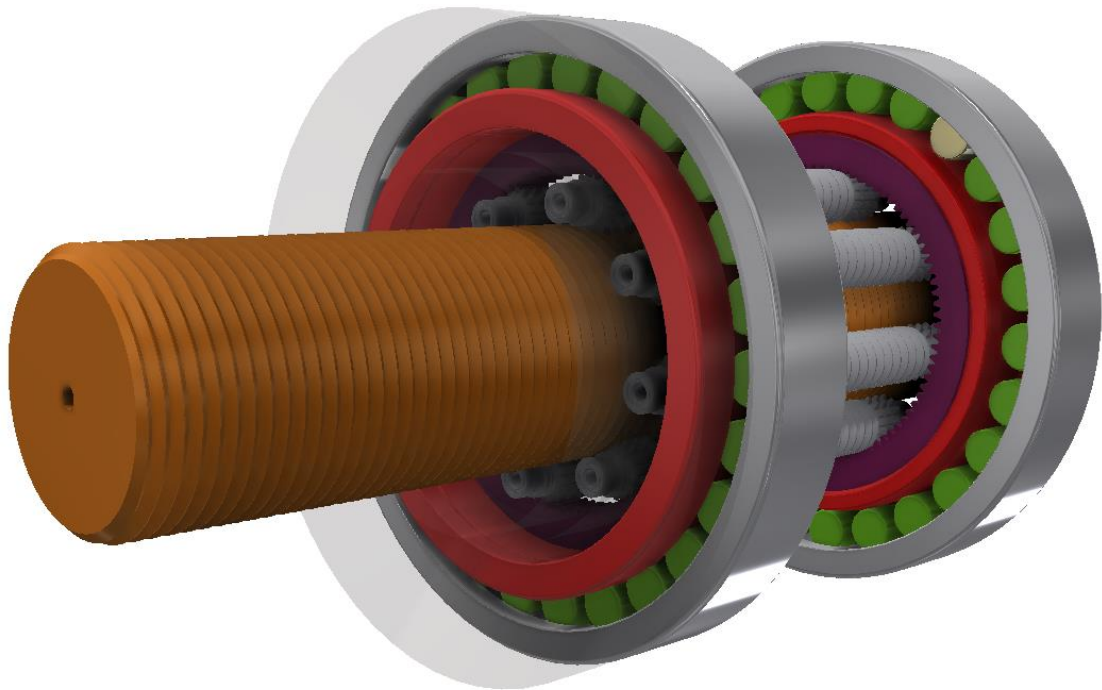


Рисунок 5.2 - Конструкція планетарної ролик-гвинтової передачі

Після детального вивчення параметрів передачі було вирішено прийняти стандартну модель ролик-гвинтової передачі SRC 15x8R 342/342 G3 -A NOWPR від компанії Ewellix з наступними параметрами (таблиця 5.1):

Таблиця 5.1 - Характеристики ролик-гвинтової передачі

|   |                              |      |
|---|------------------------------|------|
| 1 | Крок гвинтового руху, мм     | 8    |
| 2 | Напрямок різьби              | Ліва |
| 3 | Номінальний діаметр вала, мм | 15   |

Інші конструктивні параметри приводного валу та гайки ролик-гвинтової різьби визначаються в наступних розділах.

#### 5.4. Вузол перетворення обертального руху

В пристосуванні, що конструюється, вузол перетворення гвинтової передачі має призначення створювати обертання гафки ролико-гвинтової передачі навколо своєї осі таке, щоб при походженні нею дистанції, що дорівнює кроку гвинтової спіралі оброблюваного свердла, вона виконувала один повний оберт. Визначимо передатне відношення даного редуктора:

$$i_{1H} = \frac{H}{P_l} \pm 1 \quad (5.1)$$

Де  $H$  - Крок гвинтової канавки свердла, 54,4 мм

$P_l$  - Крок ролико-гвинтової передачі, 8 мм

В даній формулі додається або віднімається одиниця в залежності від напрямку обертання вихідного вала (шестерні). У випадку, коли ошестерня обертається в тому ж напрямку, що і напрямок різьби ролико-гвинтової передачі, маємо  $i_{1H} = \frac{54,4}{8} - 1 = 5,8$ .

Було сконструйовано двохступінчастий планетарний редуктор, що виконує задачу обертання гайки ролико-гвинтової передачі навколо своєї осі (Рисунок 5.3).



Рисунок 5.3. Двохступінчастий планетарний редуктор

## 5.4.1 Кінематика механізму

### 5.4.1.1 Перша ступінь редуктора

Перша ступінь уявляє собою планетарний механізм з одним ступенем вільності в якому опорна ланка – коронна шестерня,. Обертання передається від сонячної шестерні, що закріплена на головному валу пристосування на водило з сателітами. Тоді передатне відношення данної ступіні становить:

$$i_{13} = \frac{z_3}{z_1} + 1 \quad (5.2)$$

Де  $z_1$  - Кількість зубців корончастої шестерні першої ступені  
 $z_3$  - Кількість зубців сонячної шестерні першої ступені

### 5.4.1.2 Друга ступінь редуктора

Друга ступінь являє собою планетарний механізм з одним ступенем вільності в якому, на відміну від першої ступені, опорною ланкою слугує не коронна шестерня, а водило. Обертання передається від сонячної шестерні, що з'єднується з вихдним валом від першої ступені на коронну шестерню. Тоді передатне відношення данної ступіні становить:

$$i_{46} = -\frac{z_6}{z_4} \quad (5.3)$$

Де  $z_6$  - Кількість зубців корончастої шестерні другої ступені  
 $z_4$  - Кількість зубців сонячної шестерні другої ступені

## 5.4.2 Підбір зубчастих коліс редуктора

Приймаємо модуль всіх зубчастих коліс редуктора, що розглядається, рівною  $m=1$  мм. Маємо наступні умови [36]:

$$z_1 + z_2 = z_3 - z_2 \quad (5.4)$$

$$z_4 + z_5 = z_6 - z_5 \quad (5.5)$$

Умови збирання для редукторів:

$$\frac{z_1 + z_3}{K_1} = C_1 \quad (5.6)$$

$$\frac{z_4 + z_6}{K_2} = C_2 \quad (5.6)$$

Де  $K_1, K_2$  - Кількість сателітів на першій та другій ступені відповідно

$C_1, C_2$  - Будь-які цілі числа

Умови сусідства сателітів:

$$\sin \frac{\pi}{K_1} \geq \frac{z_2}{z_1 + z_2} \quad (5.7)$$

$$\sin \frac{\pi}{K_2} \geq \frac{z_5}{z_4 + z_5} \quad (5.8)$$

Де  $z_2, z_5$  - Кількість зубців сателітів першої та другої ступені відповідно

Враховуючи ці умови, а також умову передатного відношення редуктора (5.1.) було підібрано наступний набір зубчастих коліс:

- $z_1 = 24$ ;
- $z_2 = 16$ ;
- $z_3 = 56$ ;
- $z_4 = 44$ ;
- $z_5 = 12$ ;
- $z_6 = 68$ .

Маємо вихідне передатне відношення, що дорівнює 5,46, тобто похибка становить приблизно 5%, що лежить в межах допустимої похибки.

#### 5.4.3 Компонування механізма

Передача руху від першої ступені до другої відбувається завдяки пустотілому шлицьовому валу. Корончаста шестерня першої ступені встановлюється на корпус базуючись по штифтах та притискається завдяки 8и гвинтам М4. Опорна ланка другої ступені – водило, закріплюється

завдяки стакану, що жорстко з'єднаний з водилом першої ступені. На ободі вихідної корончастої шестерні другої ступені розташовані різьбові отвори для закріплення обертальної коронки, всередині якої рухається гайка ролик-гвинтової подачі.

На сонячній шестерні першої ступені планетарного редуктора виготовлено шпонковий паз, завдяки якому передається крутний момент від вхідного валу до планетарного редуктора. На рисунку 5.4 наведено осьовий переріз редуктора.

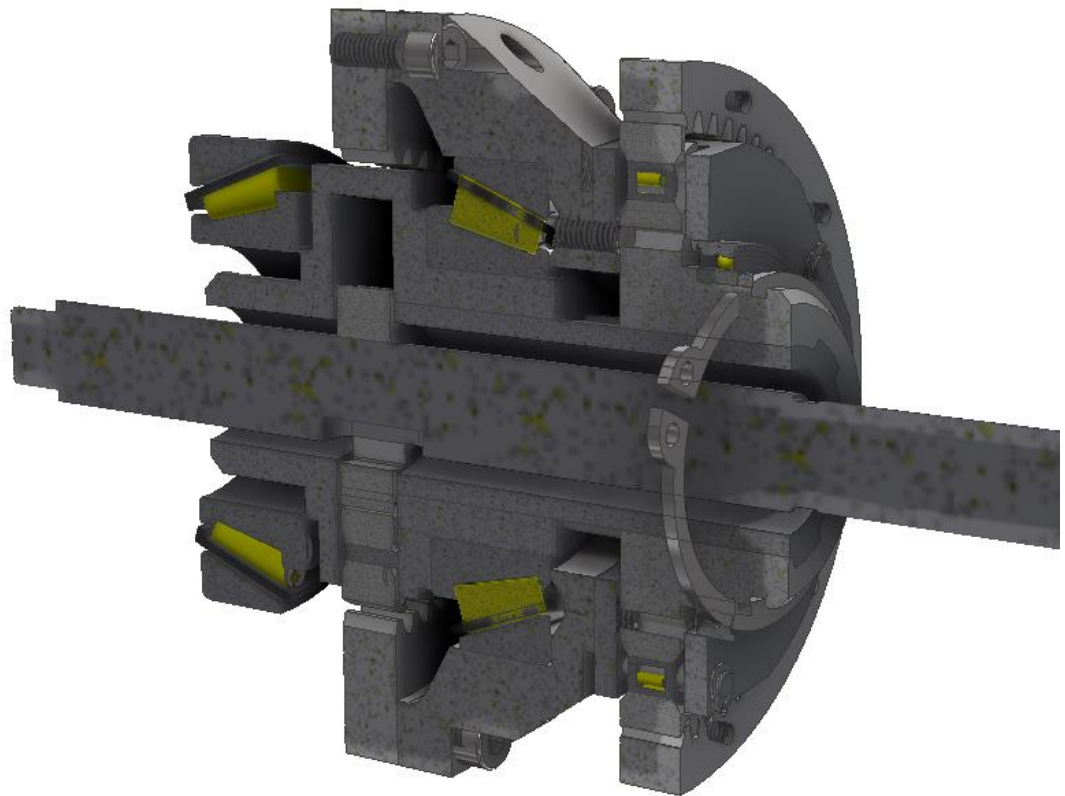


Рисунок 5.4 - Осьовий переріз редуктора

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |

ПЗ.ДП.МІ.6106.000

Лист

84



#### 5.4.4 Загальна схема пристосування

На рисунку 5.5 представлено загальну схему пристосування в розібраному стані. Специфікація на даний механізм подана в додатку Д.

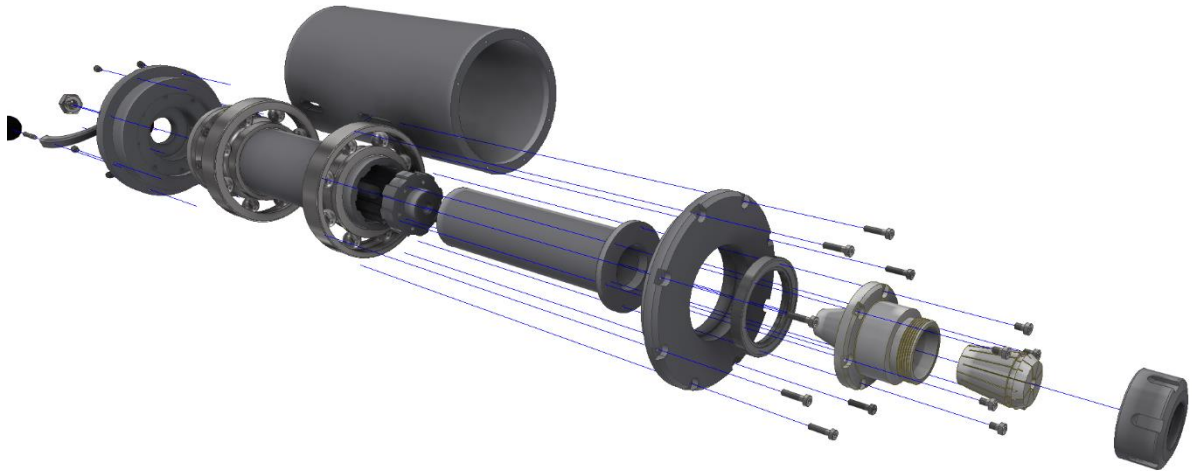


Рисунок 5.5 - Загальна схема пристосування

#### 5.5 Передача крутного моменту до гайки ролико-гвинтової передачі

Головною метою кінематичної пари, що поєднує вузол обертального руху та вузол поступального руху є забезпечення вільності руху гайки відносно коронки, але при тому – передавати крутний момент та обертати її в нерухомій системі координат. Було вирішено впровадити рухоме шліцьове з'єднання (рисунок 5.6) зі способом центрування по внутрішньому діаметру [37].

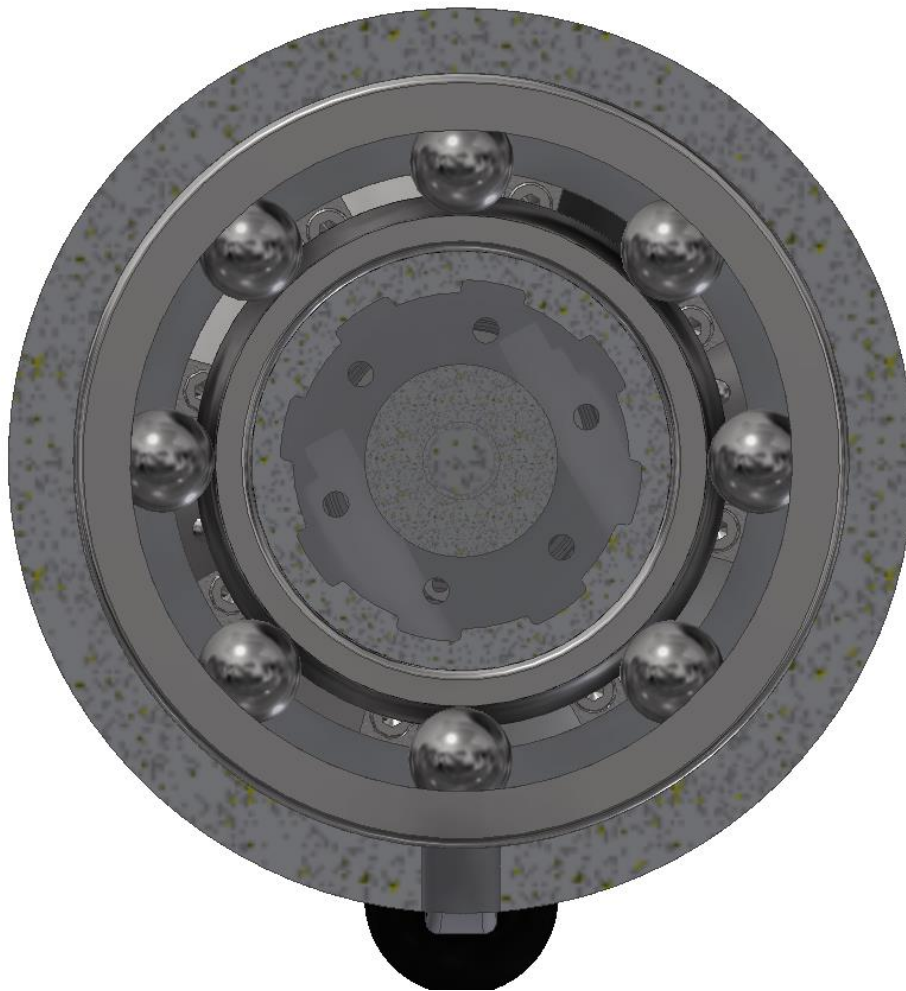


Рисунок 5.6 - З'єднання коронка – гайка ролико-гвинтової подачі.

## 5.6 Закріплення інструмента в пристосуванні

Найпопулярнішим методом закріплення осьового інструмента малого діаметра з циліндричним хвостовиком є цанговий патрон (Рисунок 5.7). Цанговий патрон слугує для кріплення кінцевого різального інструмента (свердла, фрези, мітчика) з невеликим діаметром хвостовика. Інструмент у такому патроні фіксується у змінній цанзі, яка, в свою чергу, фіксується в патроні гайкою. При закручуванні гайки, цанга втискається всередину патрону і, за рахунок своєї форми, деформується, стискаючи інструмент.

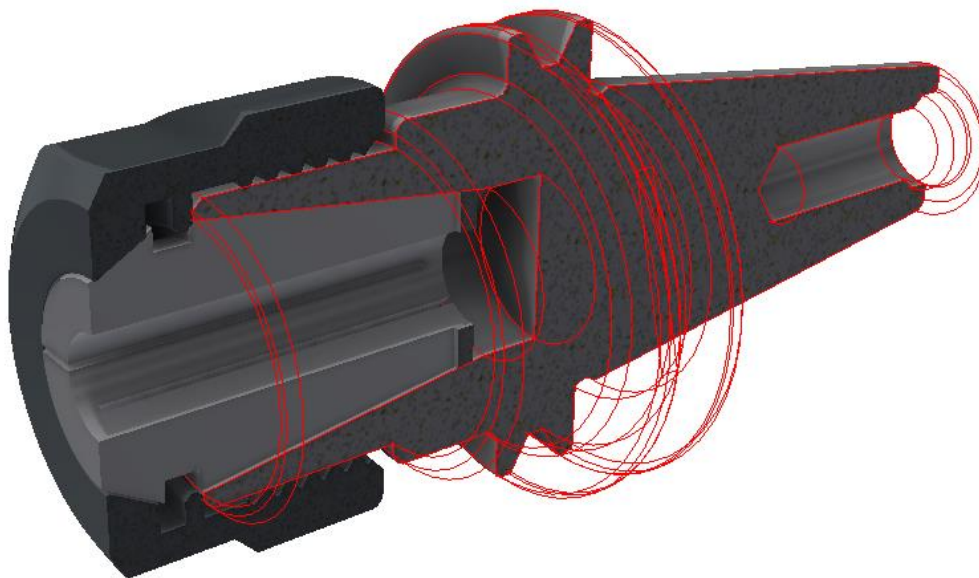


Рисунок 5.7 - Цанговий патрон з конічним хвостовиком

Патрон встановлюється на циліндричний шток, який, в свою чергу, жорстко закріплюється на гайці ролико-гвинтової передачі.

Отже, Маємо на виході гвинтовий рух цангового патрона, що складається з поступального руху гайки ролико-гвинтової передачі.

## 5.7 Розрахунок затискних сил в цанговому патроні

### 5.7.1 Визначення сил, що діють на пристосування в процесі обробки

Для розрахунку цангового зажиму визначимо сили різання при шліфуванні гвинтових канавок.

Відомо, що потужність різання [16]:

$$N_e = \frac{P_z v}{1020 \times 60} \quad (5.9)$$

Де  $P_z$  - Тангенційна складова сили різання  
 $v$  - Швидкість різання

Тоді, сила різання визначається як:

$$P_z = \frac{N_e \times 1020 \times 60}{v} \quad (5.10)$$

Шліфування відбувається периферією круга (рисунок 5.8), тому[16]:

$$N = C_N \times v_3^r \times t^x \times s^y \times d^q \quad (5.11)$$

Де  $v_3$  - Швидкість руху заготовки, м/хв  
 $t$  - Глибина шліфування, мм  
 $s$  - Величина подачі, м/хв  
 $d$  - Діаметр шліфувального круга, мм  
 $C_N, r, x, y, q$  - Константа та показники степені, що обираються в залежності від типу шліфування

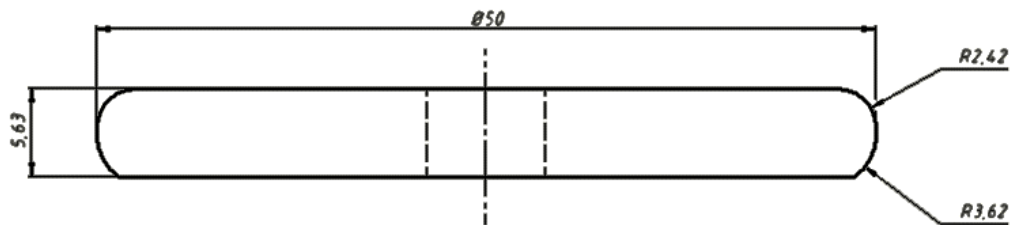


Рисунок 5.8 - Вигляд шліфувального круга, що оброблює гвинтову канавку

Отже, маємо, що діаметр шліфувального круга дорівнює 50 мм.

Для чистового шліфування рекомендовані наступні режими різання:

Швидкість круга:  $v=30-35$  м/с. Приймаємо 35м/с;

Швидкість заготовки  $v_3=20-30$ м/хв приймаємо 25 м/хв;

Глибина шліфування  $t=0,0075-0,01$  мм, приймаємо 0,008 мм;

Поздовжня подача  $s=0,3-0,5$  м/хв, приймаємо 0,4 м/хв. Для розрахунку

потужності  $s = \frac{s \times \pi \times d_3}{1000 v_3} = \frac{0.4 \times \pi \times 8}{1000 \times 25} = 0.0004 \text{ мм/об.}$  Тут прийняли діаметр

заготовки за 8 мм(шліфування канавки в свердлі 10 мм)

Вибираємо коефіцієнти:  $C_N=2.2$ ;  $r=0.5$ ,  $x=0.5$ ;  $y=0.55$ ;  $q=0.5$ .

Маємо:

$$N = 2.2 \times 25^{0.5} \times 0.008^{0.5} \times 0.0004^{0.55} \times 50^{0.5} = 0.094 \text{ кВт}$$

Тоді сила

$$P_z = \frac{N_e \times 1020 \times 60}{v} = \frac{0,094 \times 1020 \times 60}{35} = 191,9 \text{ Н}$$

### 5.7.2 Визначення крутного моменту, що діє на цанговий патрон

При виконанні операції шліфування (Рисунок 5.9), осі інструмента та деталі, що оброблюється, розташовані під кутом одна до одної. Саме тому головна сила різання поділяються на дві складові – осьову та тангенціальну.

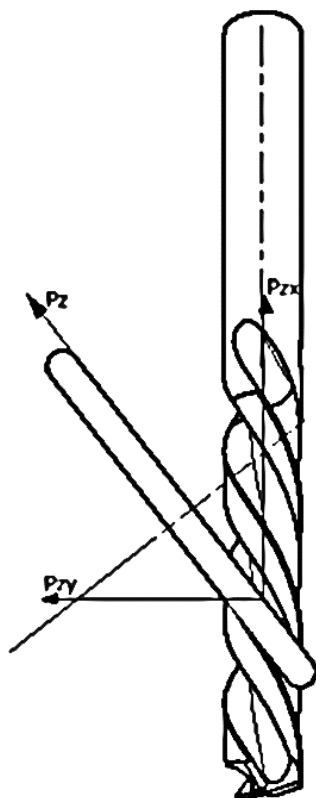


Рисунок 5.9 - Ескіз обробки канавки шліфувальним кругом та складові тангенційної сили.

Сила  $P_z$  розташована під кутом нахилу стружкової канавки до осі інструмента (31 градус), тому умовно можемо розбити її на дві складові: дотичну до умовного циліндру, по якому відбувається різання

$P_{zy}=P_z*\sin(30)=100$  Н (Рисунок 5.10) та паралельну до осі інструмента –  $P_{zx}=P_z*\cos(31)=166.2$  Н.

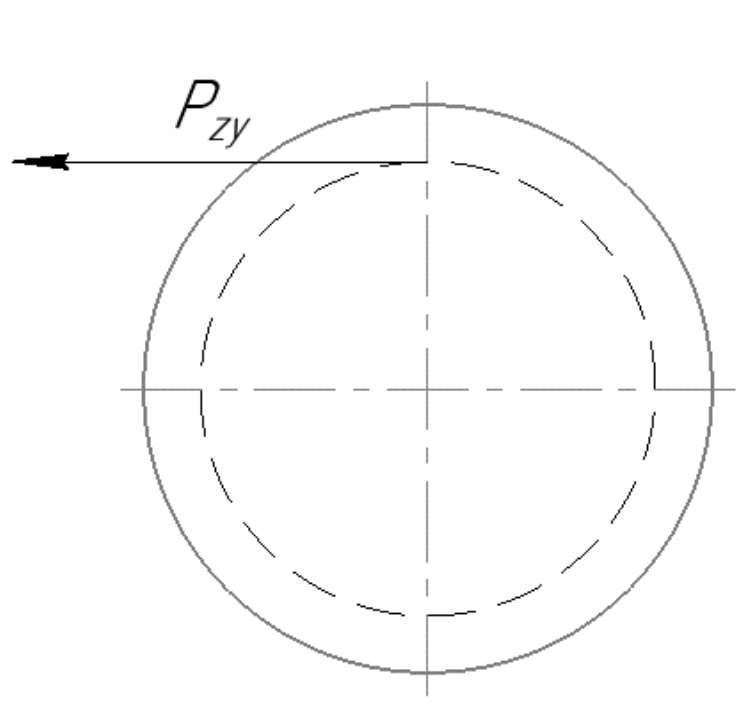


Рисунок 5.10 - Сила, що створює крутний момент

Сила  $P_{zy}$  створює крутний момент,

$$M_{кр} = P_{zy} \times \frac{d_{дет}}{2} = 100 \times 0,004 = 0,4 \text{ Нм} \quad (5.11)$$

Де  $d_{дет}$  - Діаметр, на якому прикладено силу. Приймаємо рівним діаметру деталі, що оброблюється

### 5.7.3 Вибір цанги та параметри цангового зажиму

Було прийнято використовувати цангу ER25 (Рисунок 5.11), що приймається для хвостовиків одного діаметра, які встановлюються в неї з посадкою  $d_{хв} \frac{H10}{h10}$ .

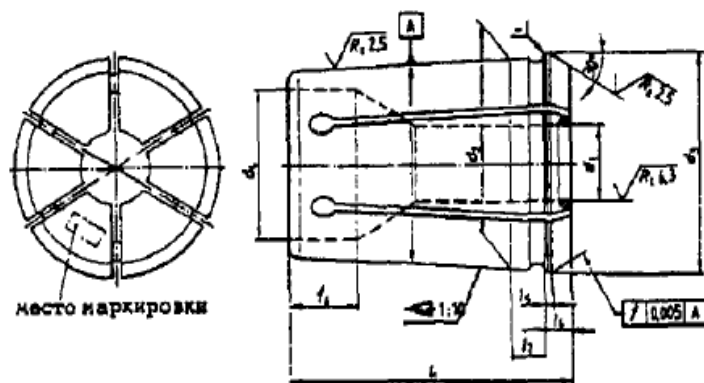


Рисунок 5.11 - Конструкція цанги [38]

Для діаметру хвостовика, що закріплюється в цанзі, 10 мм цанга ER25 має наступні основні розміри (таблиця 5.2):

Таблиця 5.2 - Основні розміри цанги ER25

| $d_1$ H10, мм | $d_2$ , мм | $d_3(-0,05)$ , мм | $d_4(+0,1)$ , мм | $l_1$ , мм | $l_2$ , мм | $l_3$ , мм | $l_4(-0,1)$ , мм | $l_5$ , мм | $l_6(\pm 0,2)$ , мм |
|---------------|------------|-------------------|------------------|------------|------------|------------|------------------|------------|---------------------|
| 10            | 32,9       | 35,05             | 25,1             | 52         | 6          | 10         | 6                | 1,4        | 11                  |

Для цанги ER25 визначимо основні розміри гайки (рисунок 5.12), що затискає її в патроні:

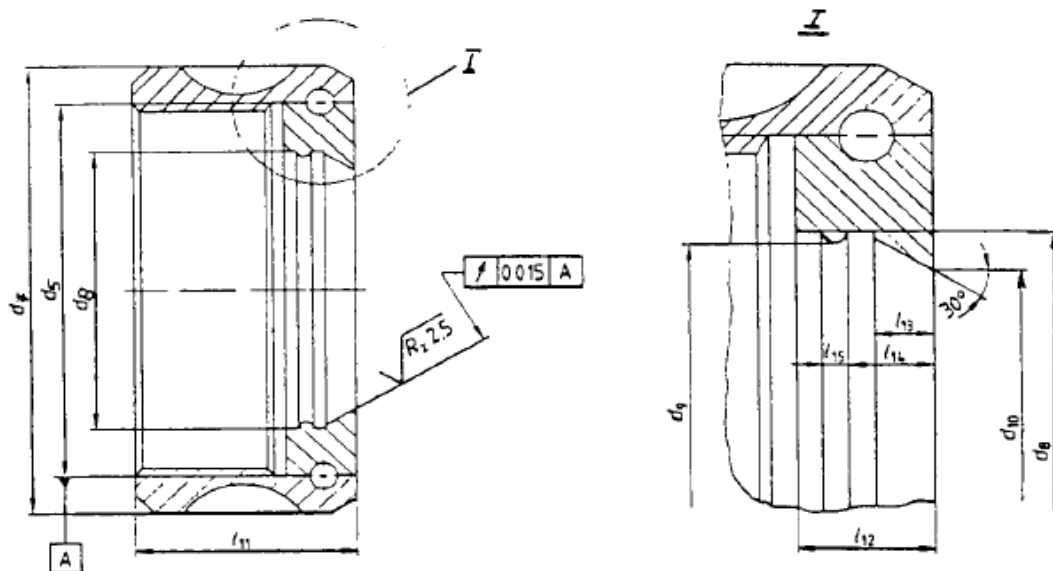


Рисунок 5.12 - Конструкція затискної гайки[38].

Для цанги ER25 затискна гайка має наступні основні розміри (таблиця 5.3):

Таблиця 5.3. Основні розміри затискної гайки

| d <sub>5</sub> , 6H | d <sub>4</sub> ,<br>мм | d <sub>8</sub> (+0.1),<br>мм | d <sub>9</sub> (+0.1),<br>мм | d <sub>10</sub> ,<br>мм | l <sub>11</sub> ,<br>мм | l <sub>12</sub> ,<br>мм | l <sub>13</sub> ,<br>мм | l <sub>14</sub> (+0.05),<br>мм | l <sub>15</sub> (+0.05),<br>мм |
|---------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| M48x2               | 60                     | 35,6                         | 33,8                         | 29,7                    | 30                      | 10,5                    | 4,5                     | 6,3                            | 2                              |

#### 5.7.4 Розрахунок затискних сил у цанговому зажимі

Осьова сила затяжки в цанговому патроні залежить від моменту затяжки цаги гайкою та визначається як:

$$P_0 = \frac{M_{\text{зат}}}{\frac{d_2}{2} \tan(\psi + \rho') + f_{\text{пр}} D} \quad (5.12)$$

- Де  $d_2$  - середній діаметр нарізі – 15,15 мм;  
 $D$  - діаметр переднього торця цанги – 40 мм;  
 $\psi$  - Кут підйома витків – 0°47'  
 $\rho'$  - приведений кут тертя нарізі.

Приведений кут тертя нарізі визначається як[39]:



$$\rho' = \tan^{-1} \frac{f_p}{\cos(0,5\alpha)} = \tan^{-1} \frac{0.25}{\cos(0,5 \times 30)} = 14.51^\circ = 14^\circ 30' \quad (5.13)$$

Де  $f_p$  - коефіцієнт приведенного тертя в нарізі, 0,25  
 $D$  -  $\alpha$ - кут профілю нарізі, 30 град

Отримуємо наступну залежність:

$$P_0 = \frac{M_{\text{зат}}}{\frac{d_2}{2} \tan(\psi + \rho') + f_{\text{пр}} D} = \frac{M_{\text{зат}}}{\frac{15.5}{2} \tan(0.78 + 14.51) + 0.25 * 40} = \frac{M_{\text{зат}}}{12.11}$$

Цанга розташовується в хвостовику в конічному отворі. Сила, що направлена по нормалі до конічної поверхні визначається із співвідношення [38]:

$$W = \frac{P_0}{\tan(\alpha + \rho) + \tan \rho} \quad (5.14)$$

Де  $\alpha$  - кут конуса, що визначається як:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{c}{2} = \tan^{-1} \frac{c}{2}$$

Для конусності 1:5, кут  $\alpha = 5^\circ 42'$

$\rho$  -  $13^\circ$  - кут тертя між цангою та корпусом.

Маємо, що реакційна сила:

$$W = \frac{P_0}{\tan(\alpha + \rho) + \tan \rho} = \frac{P_0}{\tan(5^\circ 42' + 13) + \tan 13} = \frac{P_0}{0,569}$$

Врахуємо жорсткість пелюсток цанги. Будемо вважати пелюстку цанги, як балку на пружній основі. Залежність її переміщень від навантаження носить лінійний характер:

$$\Delta = \frac{P t^3}{N E I} \quad (5.15)$$

Де  $E$  - модуль пружності, що залежить від матеріала цанги.

Для сталі 45  $E=210$  Гпа

$t$  - довжина балки

$I$  - момент інерції перетину пелюстка

Момент інерції перетину пелюстки цанги визначається, як:

Величина моменту інерції може бути визначена з наступної номограми

(рисунок 5.13):

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 93   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

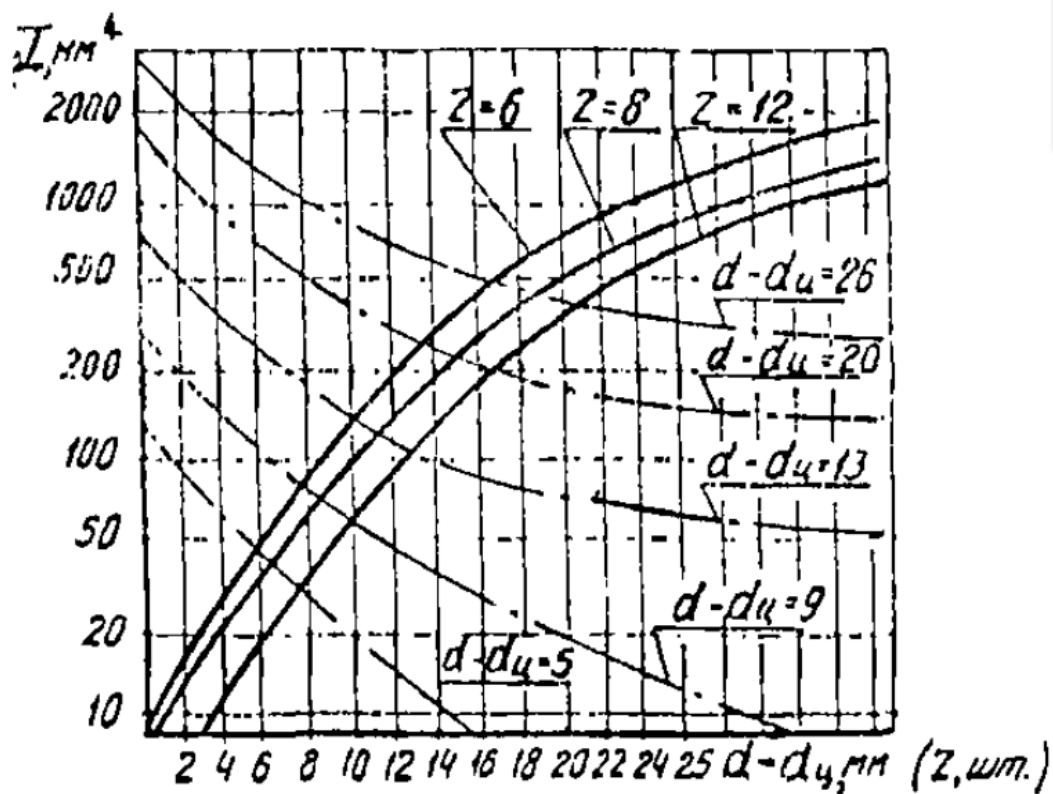


Рисунок 5.13 - Номограма для визначення моменту інерції перетину цанги [38]

Отже, для цанги з 8 пелюстками,  $I=100 \text{ мм}^4$ .

Величина коефіцієнта  $N$  визначається шляхом аналізу деформації (рисунок 5.14) пелюстка цанги (для точки С):

$$N = \frac{y'}{y} = \frac{(t(1 - \cos \varphi) + t_1)}{t + t_1} = \frac{(t(1 - \cos \varphi) + t_1)}{L} \quad (5.16)$$

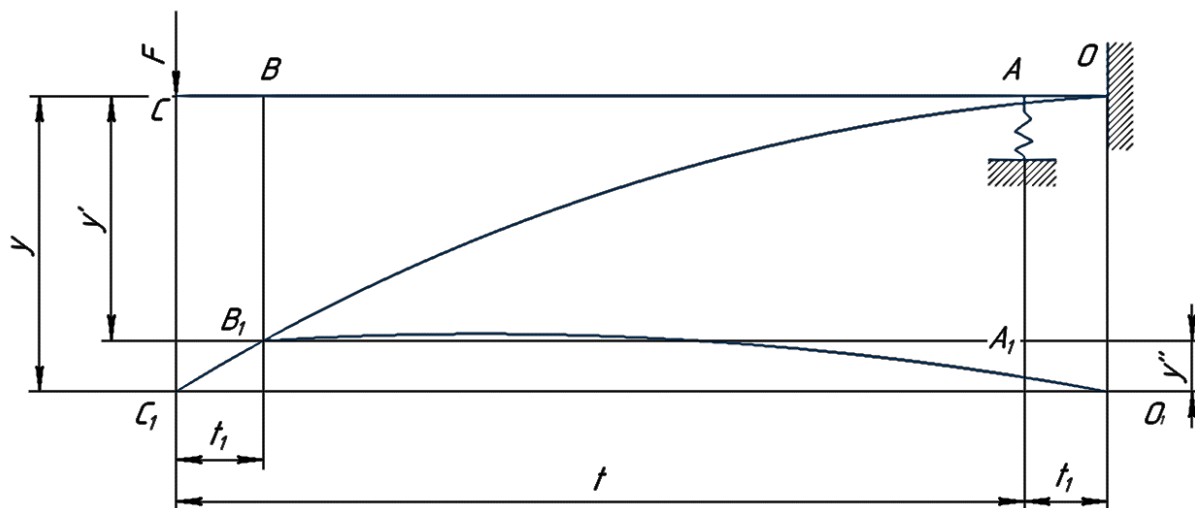


Рисунок 5.14 - Схема деформації пелюстка

Дану величину можна знайти з наступної номограми (рисунок 5.15):

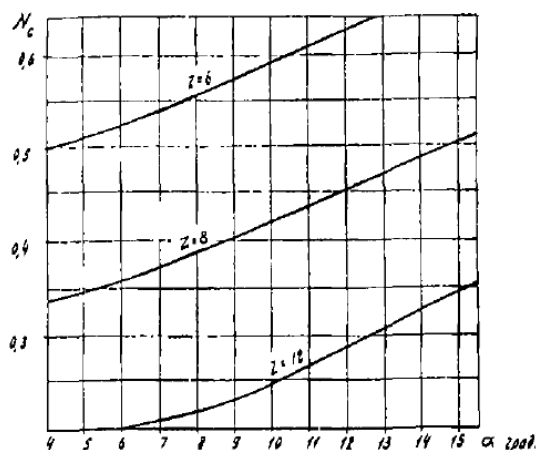


Рисунок 5.15 - Номограма для визначення коефіцієнта деформації [38]

Отже,  $N = 0,36$ .

Для кріплення хвостовика необхідно, щоб пелюсток перемістився на величину:

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{d_{\text{ц}} - d_{\text{хв}}}{2} \quad (5.16)$$

Сила, що створює таке переміщення:

$$P = \frac{NEI\Delta}{L_K^3} \quad (5.17)$$

Де  $L_K$  - довжина контакта цанги з корпусом. Для конічних з'єднань 3 точністю АТ7-АТ8, довжина контакта складає приблизно 0,3-0,35 загальної довжини.

З урахуванням розподілення навантаження по пелюстку, сила затиску, що діє на хвостовик дорівнює:

$$Q = W - \frac{1.5NEI\Delta}{L^3} \quad (5.18)$$

Питомий тиск, в стику хвостовик інструмента – цанга:

$$p = \frac{Q}{(\pi d_{\text{хв}} - bz)L} \quad (5.19)$$

Такий стик можна вважати як циліндричне з'єднання з натягом, для якого крутний момент, що передається може бути визначений як:

$$M_{KP} = \frac{r\pi d_{\text{хв}}^2 L \mu}{2} \quad (5.20)$$

А осьова утримуюча сила

$$P_{OC} = r\pi d_{\text{хв}} L \mu \quad (5.21)$$

Де  $\mu$  - 0,6 – 0,7 – коефіцієнт зчеплення внутрішньої поверхні цанг без насічок

Отже:

$$\begin{aligned}
M_{KP} &= \frac{p\pi d_{XB}^2 L \mu}{2} = \frac{Q\pi d_{XB}^2 L \mu}{2(\pi d_{XB} - bz)L} = \left( W - \frac{1.5NEI\Delta}{L^3} \right) \frac{\pi d_{XB}^2 \mu}{2(\pi d_{XB} - bz)} \\
&= \left( \frac{P_0}{0,569} - \frac{1.5NEI\Delta}{L^3} \right) \frac{\pi d_{XB}^2 \mu}{2(\pi d_{XB} - bz)} \\
&= \left( \frac{\frac{M_{зат}}{12.11}}{0,569} - \frac{1.5NEI\Delta}{L^3} \right) \frac{\pi d_{XB}^2 \mu}{2(\pi d_{XB} - bz)} \\
&= \left( \frac{M_{зат}}{6,89} - \frac{1.5 \times 0,36 \times 2 \times 10^5 \times 100 \times 0,14}{52^3} \right) \frac{\pi \times 100 \times 0,65}{2(\pi \times 10 - 1,6 \times 8)} \\
&= \left( \frac{M_{зат}}{6,89} - 10,75 \right) \times 5,48 = 0,73M_{зат} - 58,96 \text{ Нм}
\end{aligned}$$

Можемо зробити висновок, що мінімальна зтяжка, яку потрібно забезпечити, щоб «стягнути» цангу – 80Нм. За паспортом, номінальна зтяжка на цангу ER 25 – 104 Нм, тобто, при такій зтяжці ми отримуємо утримуючий момент близько 10 Нм, що перевищує момент, який утворюється в процесі різання. Коефіцієнт запасу:  $n=10/0,4=25$ .

## 5.8 Похибка базування заготовки у цанговому патроні

Похибка базування в самоцентрівному патроні (рисунок 5.15), такому як трьохкулачковий або цанговий патрон, визначається наступним чином [40]:

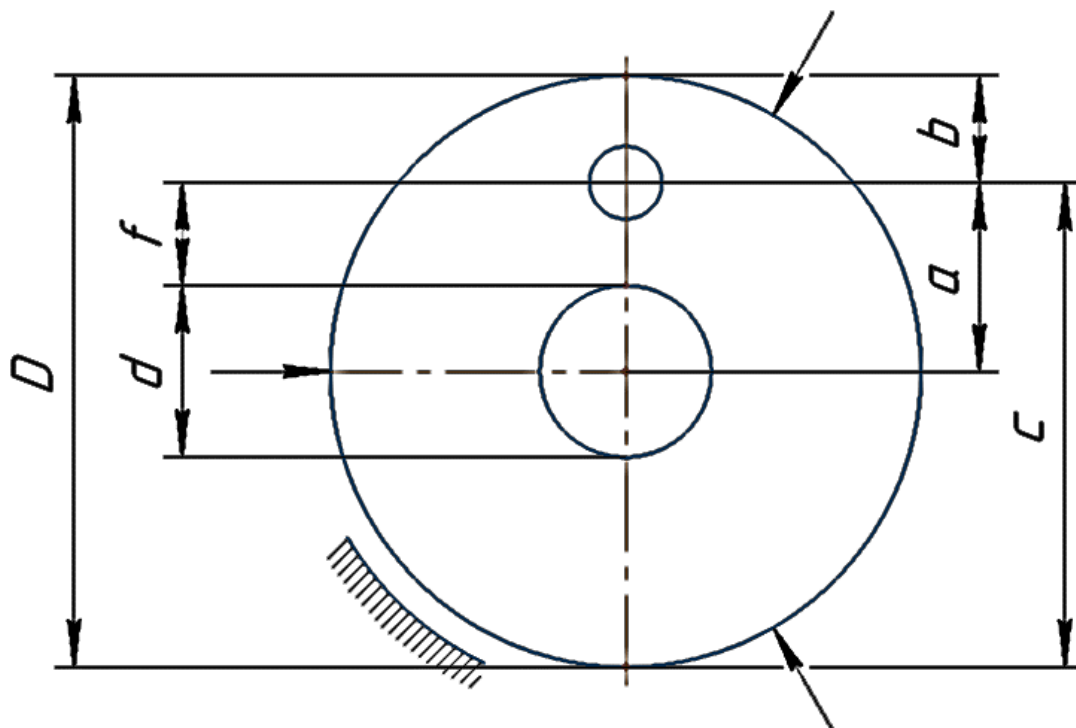


Рисунок 5.15. Схема з основними розмірами деталі

$$\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = \varepsilon_c = \frac{\delta D}{2} \quad (5.22)$$

Тобто, при шліфуванні канавки маємо похибку базування, що дорівнює половині допуску на розмір хвостовика свердла. При допуску h8 на циліндричному хвостовику діаметром 10 мм, похибка базування:

$$\varepsilon = \frac{\delta D}{2} = \frac{0.027}{2} = 0.0135 \text{ мм}$$

Виходячи з цього, можна стверджувати, що мінімальна похибка при обробці становить пловину допуску на діаметр, з чого можемо зробити висновок, що чим точніше ми хочемо обробити розмір, тим точніше має бути хвостовик.

## 6 ОБРОБЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

На сьогоднішній день переважна більшість виробництв відійшло від використання універсальних верстатів за рахунок впровадження сервостатів з ЧПК. Такі зміни дозволили вирішити ряд проблем, починаючи з нижчої кваліфікації робочих, які працюють на виробництві, закінчуючи можливістю точно прогнозувати вихідну якість та кількість деталей впродовж певного терміну.

В даній роботі було створено керуючу програму на виконання деяких операцій по обробленню деталі «Корпус свердла» (Рисунок 6.1.) та просимульовано процес обробки для них.

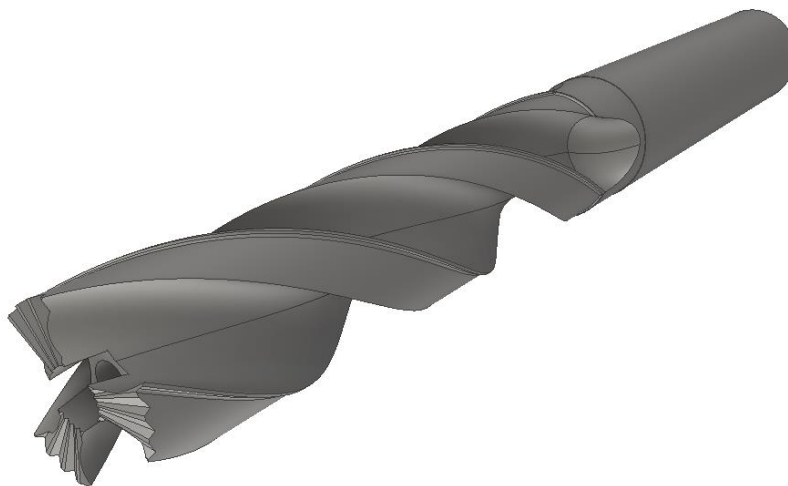


Рисунок 6.1 - Корпус свердла

Скористуємось САМ-розширенням для програмного забезпечення AUTODESK INVENTOR, щоб побудувати процес оброблення деталі на верстаті з ЧПК.

Відповідно до маршруту технологічного процесу, після етапу відрізання заготовки та галтування іде чорнова обробка на токарному верстаті зі зняттям припуску. Маємо, що діаметр заготовки становить 11,6 мм (Рисунок 6.2).

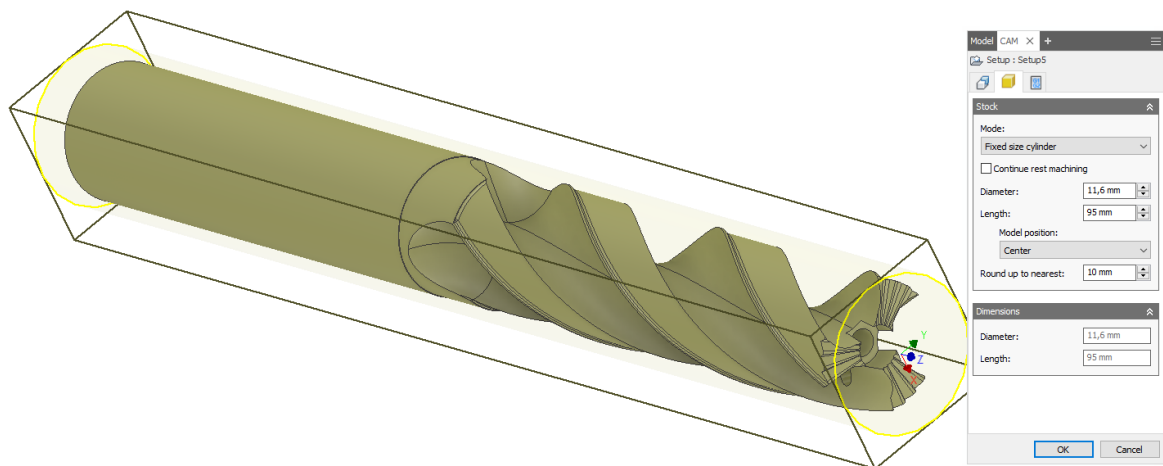


Рисунок 6.2 - Встановлення заготовки

### 6.1. Операція чорнового точіння

Операція чорнове точіння (рисунок 6.3) виконується прохідним різцем в два проходи. Відповідно до розрахунків, приведених в розділі 4.4, швидкість різання – 150 м/хв. Встановлюємо поздовжню подачу, як 0,4 мм/об.

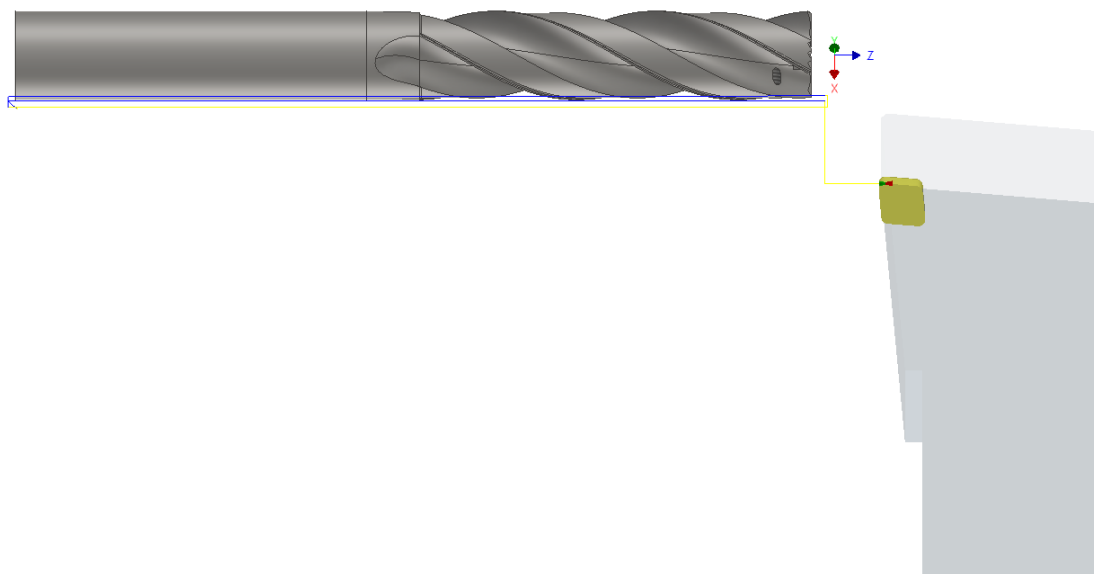


Рисунок 6.3 - Симуляція чорнового точіння деталі

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |

ПЗ.ДП.МІ.6106.000

Лист

100



## 6.2 Операція підрізання торця

Операція підрізання торця (Рисунок 6.4) виконується канавочним різцем. Програмно задано збереження швидкості різання на постійному рівні – 91 м/хв. Радіальна подача – 0,05 мм/об.

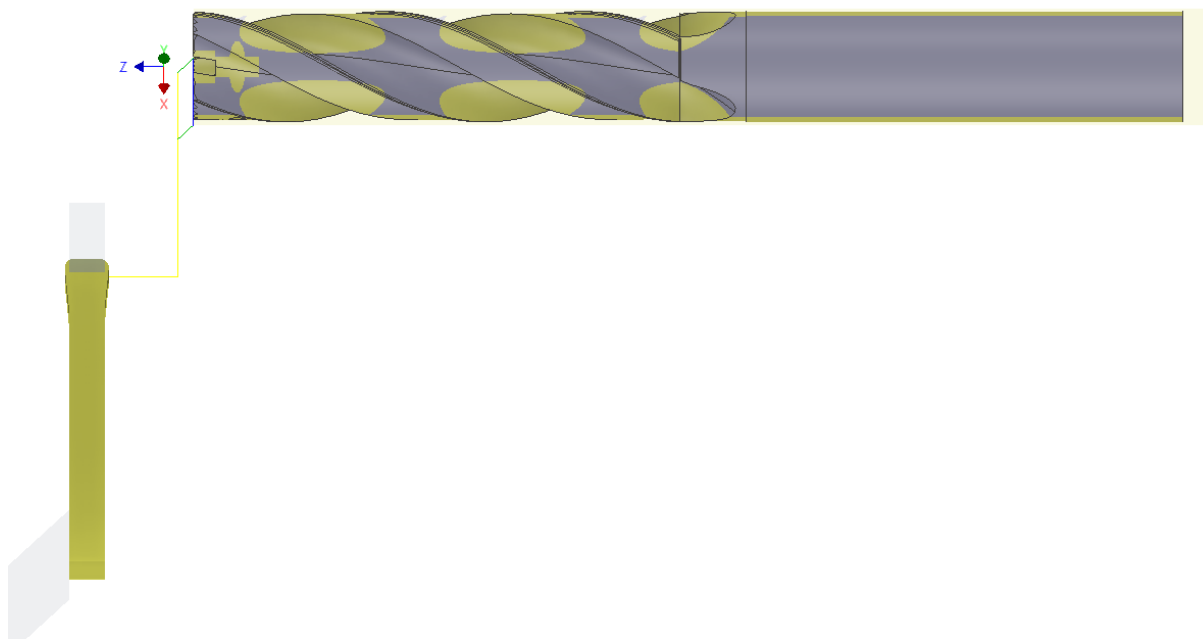


Рисунок 6.4 - Симуляція операції підрізання торця

## 6.3 Операція свердління отвору під змінну головку

Свердління отвору (Рисунок 6.5) виконується свердлом зі швидкорізальної сталі з діаметром 1,9 мм, так як після цієї операції впроваджується операція розгорткування отвору розгорткою.

Визначаємо подачу відповідно до розділу 4.4. Враховуючи умови свердління (операція відбувається після нарізання гвинтових канавок, жорсткість системи ВПД зменшена), подача  $s=0,025$  мм/об

Швидкість різання – 50,2 м/хв, тоді частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{v}{2\pi R} \quad (6.1)$$

Так, як діаметр свердла 1,9 мм, частота обертання свердла становить 7000 об/хв (округлено в сторону зменшення).

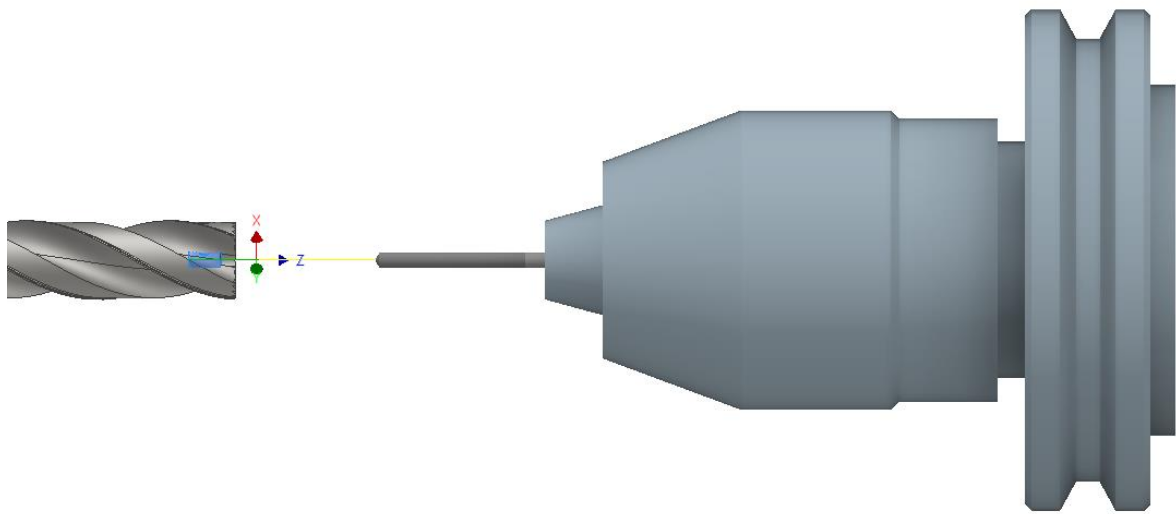


Рисунок 6.5 - Симуляція операції свердління отвору

Було згенеровано код керуючої програми для оброблення розглянутих вище конструктивних елементів. Приклад кода можна знайти в Додатку Г.

В даній роботі було розглянуто питання оброблення отворів в волокнистих полімерних композиційних матеріалах. Було визначено основні проблеми, які виникають при свердлінні отворів в профілях з ВПКМ.

З економічних міркувань було запропоновано впровадити змінні непереточувані накінецьники свердла з DLC покриттям.

З метою вирішення проблеми розшарування на вході та виході з отвору, а також зменшення «ефекту розлохмочування на циліндричній поверхні було запропоновано спеціальну конструкцію триперого свердла, геометрія якого створює сприятливі умови в зоні різання, дозволяє без проблем евакуувати стружку.

Було запропоновано специфічну геометрію різальної кромки, при роботі якої спостерігається ефект підрізання волокон, тим самим зменшуючи ефект розлохмочування отворів.

Було розроблено оптимальну технологію виготовлення змінної твердосплавної головки, що за потужністю перевершує всі типові технологічні процеси.

Було сконструйовано спеціальне технологічне пристосування для виконання операції шліфування стружкової канавки на універсальному заточному верстаті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор): монография / [Д. В. Криворучко, В. А. Залогов, В. А. Пасечник та ін.]. – Сумы: Университетская книга, 2013. – 272 с.
2. Родин П. Р. Геометрия режущей части спирального сверла / П. Р. Родин. – Киев: Техника, 1971. – 135 с.
3. Технология изготовления режущего инструмента / А. И. Барсов, А. В. Иванов, К. И. Кладова, А. Н. Троцкая. – Москва: Машиностроение, 1979. – 136 с.
4. Сравнение композитного профиля с другими материалами [Электронный ресурс] // Группа компаний «Армпласт» Стеклопластиковая композитная арматура – Режим доступа до ресурсу: <https://arm-plast.ru/czenyi/kompozitnyij-profil/sravnenie.html>.
5. Барсов А. И. Технология инструментального производства. Учебник для машиностроительных техникумов / А. И. Барсов. – Москва: Машиностроение, 1975. – 272 с.
6. Косилова А. Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, М. А. Калинин. – Москва: Машиностроение, 1976. – 288 с.
7. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / [А. Н. Резников, Е. И. Алексениев, Я. И. Баран та ін.]. – Москва: Машиностроение, 1977. – 391 с.
8. Котельников В. К. Приспособления для изготовления металлорежущего инструмента / В. К. Котельников. – Москва: Машиностроение, 1977. – 175 с.
9. Graham T. Smith. Cutting tool technology. Industrial handbook / Graham T. Smith. – Southampton, UK: Springer-Verlag London Limited, 2008. – 605 с.

10. Kumar Sambhav. Geometric modeling and validation of twist drills with a generic point profile / Kumar Sambhav, Puneet Tandon, Sanjay G. Dhande. // Applied Mathematical Modelling. – 2011. – №36. – С. 2385–2403.
11. Белявцев Н. И. Комбинированное шлифование безвольфвramовых твердых сплавов / Н. И. Белявцев, М. Д. Узунян. – Харьков: НТУ, ХПИ, 2001. – 169 с.
12. Соппротивление материалов: Учебник для вузов / [Г. С. Писаренко, В. А. Агарев, А. Л. Квитка та ін.]. – Киев: Вища школа, 1979. – 696 с. – (4-е издание, переработанное и дополненное).
13. Безъязычный В. Ф. Расчет режимов резания. Учебное пособие / В. Ф. Безъязычный, И. Н. Аверьянов, А. В. Кордюков. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.
14. Чапала Ю. И. Порошковая металлургия: технология, исходные материалы, конечная продукция и ее применение [Электронный ресурс] / Ю. И. Чапала // Метотехника. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.metotech.ru/article.htm>.
15. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Том 1 / [В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев та ін.]. – Москва: Машиностроение, 1986. – 656 с. – (4-е издание, перераб. и доп.).
16. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Том 2 / [Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов та ін.]. – Москва: Машиностроение, 1986. – 496 с. – (4-е издание, перераб. и доп.).
17. Gubbels, Gudio P. H/. Diamond turning of glassy polymers / Gubbels, Gudio P. H/. – Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2006. – 222 с.
18. Исследование эффектов термического разложения композиционных материалов конструкционного назначения / С. И. Бурдюгов, Г. М. Батракова, Я. И. Вайсман, В. В. Карманов. // ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И МЕЗОСКОПИЯ. – 2011. – С. 319–325.

19. Конструкционные материалы: Справочник / [Б. Н. Арзамасов, В. А. Бростерм, Н. А. Бушета и др.]. – Москва: Машиностроение, 1990. – 688 с.
20. Бойцов А.Г., Дудаков В.Б., и др. Новое в обработке композитов [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <http://vniimalmaz.ru/technology/45.html?PHPSESSID=mbv3ldp32rfgrsn60hj2hn0st5>
21. SUMITOMO Performance cutting tools. General Catalogue [Электронный ресурс] // SUMITOMO ELECTRIC GROUP. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: [http://www.sibinstrument.com/upload/iblock/f91/sumitomo\\_general-catalogue\\_18\\_19.pdf](http://www.sibinstrument.com/upload/iblock/f91/sumitomo_general-catalogue_18_19.pdf).
22. Особенности уплотнения при спекании сплава ВН8М с добавками наноразмерного карбида вольфрама. / Д. В. Фёдоров, О. В. Семёнов, В. И. Румянцев, С. С. Орданьян. // ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ. – 2014. – №3. – С. 26–30.
23. Износостойкое покрытие инструмента PVD и CVD [Электронный ресурс] // PIttools.ru - Продажа и заточка фрез. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://pitools.ru/articles/pvd-coating.html>.
24. CVD. Chemical vapor deposition. Progressive Coating Technology For Metal Forming Applications [Электронный ресурс] // Richter Precision Inc., USA. – 2008. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.richterprecision.com/wp-content/uploads/our-company/quality-certifications/application/pdf/CVD-Coating-Brochure-Richter-Precision-Inc-2015.pdf>.
25. Diamond-like carbon(DLC) PVD coatings [Электронный ресурс] // Richter Precision Inc., USA – Режим доступа до ресурсу: <http://www.richterprecision.com/services/pvd-coatings/diamond-like-carbon-dlc/>.

- 26.Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: Учебное пособие для вузов по специальности "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты" / [Г. Н. Кирсанов, О. В. Арбузов, Ю. Л. Воровой та ін.]. – Москва: Машиностроение, 1986. – 288 с.
- 27.Industry 4.0. Rotating metalcutting tools [Електронний ресурс] // AdvanceMachining TaeguTec. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.taegutec.com/pages/en/publications/cutting-tools-catalogs/>.
- 28.Солодкий В. І. Методичні вказівки з дисципліни "Різальний інструмент та інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва"ковий інструмент для утворення гвинтових поверхонь. / В. І. Солодкий. – Київ: НТУУ "КПІ", 2015. – 36 с.
- 29.Основы проектирования и технология изготовления абразивного инструмента: Учебное пособие для техникумов по специальности "Производство абразивного и алмазного инструмента" / [Ю. М. Ковальчук, В. А. Букин, Б. А. Глаговский та ін.]. – Москва: Машиностроение, 1984. – 288 с.
- 30.Дмитриев В. А. Расчет приспособлений на точность: учебное пособие / В. А. Дмитриев, С. А. Немыткин. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2009. – 90 с.
- 31.Авраменко В. Е. Технология машиностроения. Расчет припусков и межпереходных размеров: Учеб. пособие / В. Е. Авраменко, Ю. Ю. Терсков. – Красноярск: ПИ СФУ, 2007. – 88 с.
- 32.Равська Н. С. Оптимізація маршруту технологічного процесу інструменту: Метод. вказівки до викон. курсової роботи з дисципліни "Математичне моделювання процесів різання" для студ. напряму підготовки / Н. С. Равська, Л. І. Ковальова, О. А. Охріменко. – Київ: ММІ НТУУ "КПІ", 2012. – 28 с.
- 33.Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs / Dijkstra. // Numerische Mathematik. – 1959. – С. 269–271.

34. Universal cutter and tool grinder [Електронний ресурс] // TOP WORK INDUSTRY Co. Ltd. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [http://topworktw.vbook.tw/book/book/index.php?book\\_id=VE04006#/page/4](http://topworktw.vbook.tw/book/book/index.php?book_id=VE04006#/page/4).
35. PLANETARY ROLLER SCREWS [Електронний ресурс] // Tolomatic, Inc.. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.tolomatic.com/info-center/educational/roller-screw-high-force-linear-actuators>.
36. Кірієнко О. А. Теорія механізмів і машин Синтез та аналіз механізму приводу Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів машинобудівних спеціальностей 6.050502 “Інженерна механіка” / О. А. Кірієнко, Л. Г. Овсієнко. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2010. – 76 с.
37. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Текст]: навч. посібн. / [Ю. І. Адаменко, О. М. Герасимчук, С. В. Майданюк та ін.]. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 188 с.
38. Маслов А. Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: Справочник. / А. Р. Маслов. – Москва: Машиностроение, 1996. – 240 с.
39. Жильников Е. П. Определение коэффициентов трения в резьбе и на торце гайки: Метод. указания к лаб. работе / Е. П. Жильников, В. П. Тукмаков. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2007. – 16 с.
40. Царенко М. А. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ Методические указания к практической работе по курсу «Проектирование приспособлений технологического оборудования» / М. А. Царенко, О. В. Захаров. – Саратов: СГТУ, 2009. – 23 с.



- 41.Звягольский Ю. С. Технология производства режущего инструмента. Учебное пособие / Ю. С. Звягольский, В. Г. Солоненко, А. Г. Схирталадзе. – Москва: Высшая школа, 2010. – 334 с.
- 42.Палей М. М. Технология производства металлорежущих инструментов: Учеб. пособие для студентов втузов, обучающихся по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». / М. М. Палей. – Москва: Машиностроение, 1982. – 256 с. – (2-е изд., перераб. и доп.).
- 43.Крагельский И. В. Коэффициенты трения: справ. пособие / И. В. Крагельский, И. Э. Виноградова. – Москва: Машгиз, 1962. – 220 с. – (2-е изд., перераб. и доп.).
- 44.Technical Guidance. – Sumitomo Electric, 2001. – 52 p.

ДОДАТКИ

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 110  |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

## ДОДАТОК А

Аналітичне визначення профілю початкової інструментальної поверхні дискового інструмента для оброблення гвинтової канавки

1. Вихідні дані для профілювання

1.1. Параметри профілю в торцевому перерізі

Кількість розрахункових точок:

ORIGINAL := 1

N := 29

i := 1..N

Координати розрахункових точок:

$\rho_i$  – довжина радіус-вектора відносно осі свердла;

$\delta_i$  – полярний кут між радіус-вектором та додатнім напрямком осі X;

$\zeta_i$  – кут нахилу дотичної до профілю канавки в торцевому перерізі в даній точці.

| $p_i :=$ | $a_i :=$ | $b_i :=$ |
|----------|----------|----------|
| 4.54     | 0.794    | 0.988    |
| 4.29     | 0.812    | 1.11     |
| 4.03     | 0.828    | 1.233    |
| 3.75     | 0.842    | 1.356    |
| 3.47     | 0.853    | 1.478    |
| 3.18     | 0.861    | 1.601    |
| 2.88     | 0.864    | 1.723    |
| 2.59     | 0.861    | 1.846    |
| 2.3      | 0.849    | 1.968    |
| 2.02     | 0.825    | 2.091    |
| 1.76     | 0.784    | 2.213    |
| 1.55     | 0.723    | 2.335    |
| 1.4      | 0.637    | 2.461    |
| 1.33     | 0.531    | 2.571    |
| 1.36     | 0.421    | 2.655    |
| 1.47     | 0.324    | 2.735    |
| 1.64     | 0.248    | 2.817    |
| 1.87     | 0.192    | 2.899    |
| 2.12     | 0.153    | 2.98     |
| 2.4      | 0.128    | 3.061    |
| 2.69     | 0.111    | 3.142    |
| 2.97     | 0.103    | 3.224    |
| 3.27     | 0.099    | 3.305    |
| 3.56     | 0.099    | 3.387    |
| 3.85     | 0.103    | 3.468    |
| 4.14     | 0.108    | 3.55     |
| 4.43     | 0.113    | 3.631    |
| 4.72     | 0.125    | 3.712    |
| 5        | 0.136    | 3.794    |

$$\delta_i := a_i \cdot 2 + 0.9 \quad \xi_i := b_i + 0.9 + \pi$$

## 1.2. Параметри, що пов'язані з гвинтовою поверхнею та установчі параметри

|  |   |
|--|---|
| $\omega := 30 \cdot \text{deg}$  | - нахил гвинтової канавки у градусах      |
| $a := 26$  | - відстань між осями інструмента і деталі |
| $R_s := 5$   | - радіус свердла                          |
| $H := \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\tan(\omega)} \quad H = 54.414$                         | - крок гвинтової поверхні                 |
| $p := \frac{H}{2 \cdot \pi} \quad p = 8.66$  | - гвинтовий параметр                      |
| $\varepsilon := \frac{\pi}{2} - (\omega - 1 \cdot \text{deg}) \quad \varepsilon = 1.065$ | - кут схрещення осей інструмента і деталі |

## 2. Рівняння контакту

Загальне рівняння контакту, розкладене в ряд Маклорена відносно параметра  $x$ :

$$q_2 x^2 + q_1 x + q = 0$$

Де  $q_2, q_1, q$  – коефіцієнти в квадратному рівнянні. Визначаються, як:

$$q_i := -p \cdot \rho_i \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \cos(\xi_i) + (a - \rho_i \cdot \sin(\delta_i)) \cdot (-\rho_i \cdot \cos(\delta_i - \xi_i) \cdot \sin(\varepsilon) + p \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\xi_i))$$

$$q1_i := (\rho_i)^2 \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\delta_i - \xi_i) \cdot \sin(\varepsilon) + p \cdot \cos(\xi_i) \cdot (a \cdot \cos(\varepsilon) + p \cdot \sin(\varepsilon))$$

$$q2_i := (-p) \cdot [\rho_i \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \cos(\xi_i) + (\rho_i \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\delta_i) + p \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\xi_i))]$$

## 2.1. Корені квадратного рівняння

Визначаються через дискримінант:

$$x1_i := \frac{-q1_i + \sqrt{(q1_i)^2 - 4 \cdot q2_i \cdot q_i}}{2 \cdot q2_i}$$

$$x2_i := \frac{-q1_i - \sqrt{(q1_i)^2 - 4 \cdot q2_i \cdot q_i}}{2 \cdot q2_i}$$

## 2.2. Визначення найближчого до нуля кореня

Вибираємо з двох коренів той, відстань від якого до нуля найменша:

$$t_i := \text{if}(|x1_i| < |x2_i|, x1_i, x2_i)$$

Маємо графік коренів, найближчих до нуля (рисунок 1):

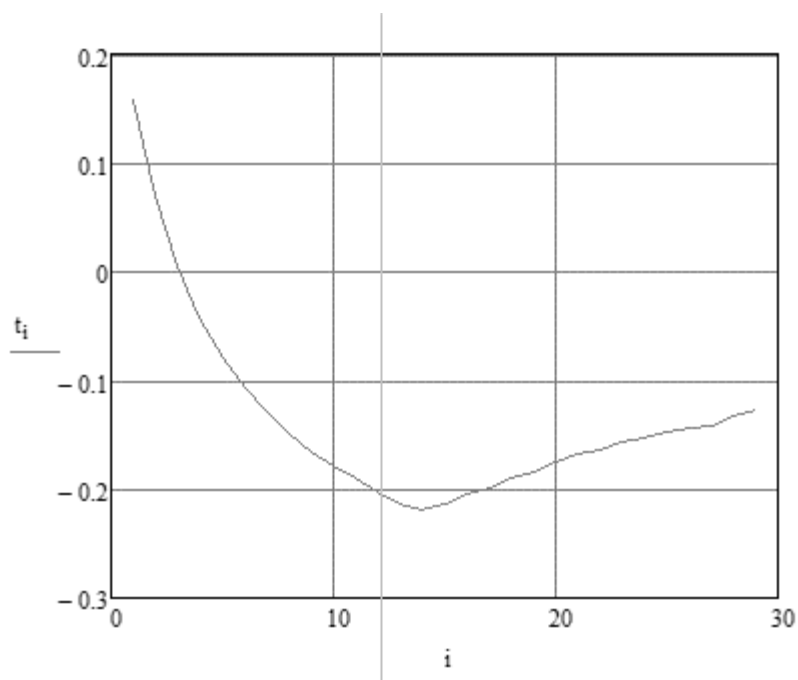


Рисунок 1- Значення найближчого до нуля кореня.

### 3. Профіль початкової інструментальної поверхні

Координати профілю початкової інструментальної поверхні визначаються, як (Рисунок 2):

$$Ri_i := \sqrt{\left(\rho_i \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \cos(\delta_i + t_i) - p \cdot t_i \cdot \sin(\varepsilon)\right)^2 + \left(a - \rho_i \cdot \sin(\delta_i + t_i)\right)^2}$$

$$Zi_i := p \cdot t_i \cdot \cos(\varepsilon) + \rho_i \cdot \cos(\delta_i + t_i) \cdot \sin(\varepsilon)$$

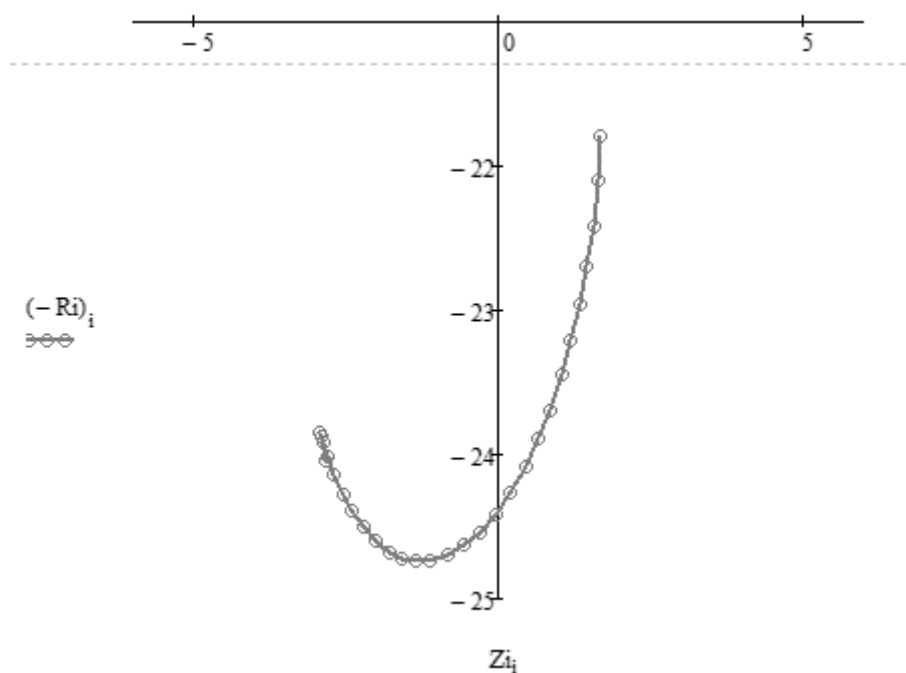


Рисунок 2 - Профіль початкової інструментальної поверхні

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |

ПЗ.ДП.МІ.6106.000

Лист

114

#### 4. Проекційні характеристики

Визначимо проекції на площини. Побудуємо графіки проекцій на ортогональні площини (рисунки 3 – 6). Маємо залежності:

$$X_i := \rho_i \cdot \cos(\delta_i + t_i)$$

$$Y_i := \rho_i \cdot \sin(\delta_i + t_i)$$

$$Z_i := p \cdot t_i$$

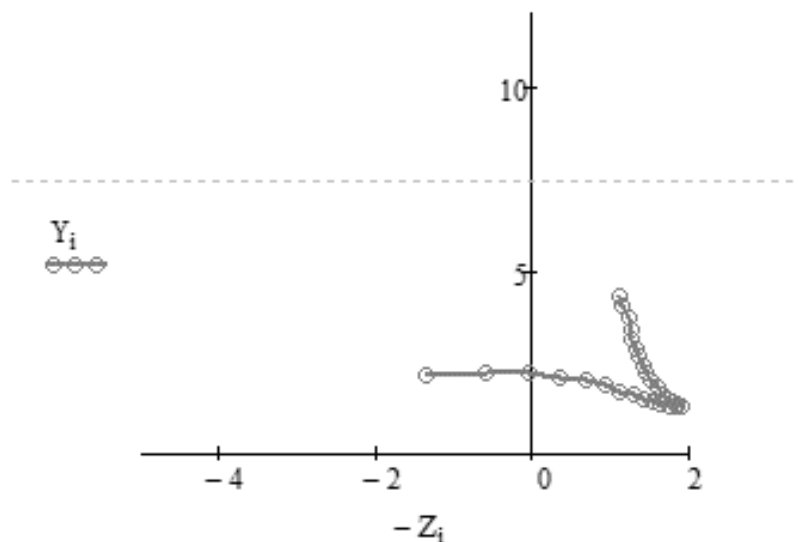


Рисунок 3 - Проекція на площину YZ

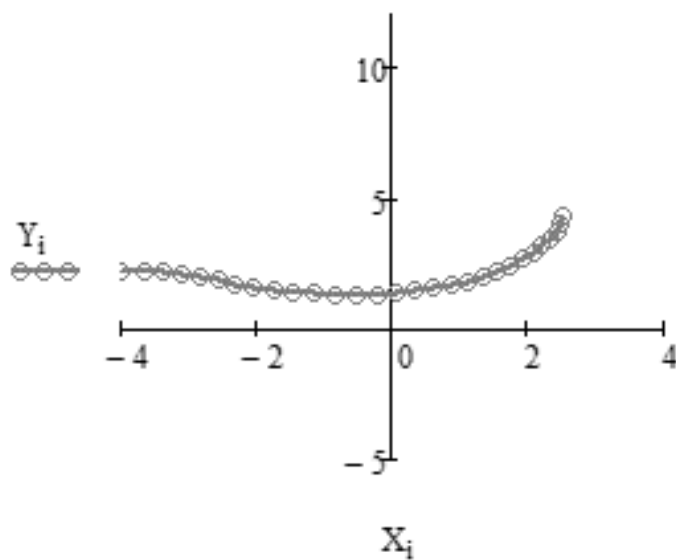


Рисунок 4 - Проекція на площину ХУ

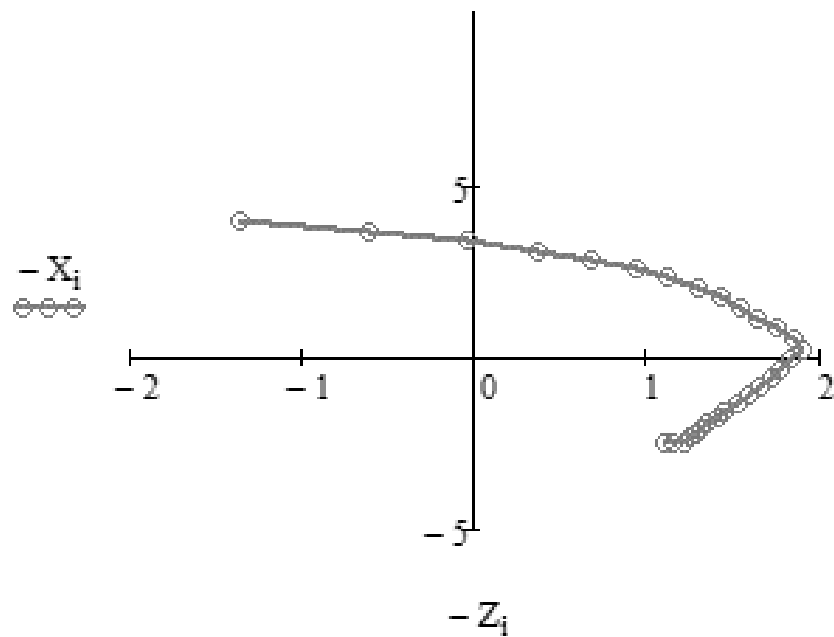


Рисунок 5 - Проекція на площину XZ

Проаналізувавши отримані графіки зробимо висновок, що функція нерозривна.



## ДОДАТОК Б

Логічна таблиця критеріїв та операцій по виготовленню деталі  
«змінна різальна головка»

|     |                              | Гострота різальної кромки | Осьове биття різальної частини | Відсутність затирання по задній поверхні | Твердість робочої частини | Точність виконання заднього кута | Стійкість | Шорсткість передньої поверхні | Шорсткість задньої поверхні | Шорсткість стрічок |
|-----|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|
|     |                              | A1                        | A2                             | A3                                       | A4                        | A5                               | A6        | A7                            | A8                          | A9                 |
| 31  | Приготування суміші          | 1                         | 0                              | 0  | 1                         | 0                                | 1         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 32  | Пряме пресування             | 0                         | 0                              | 0  | 1                         | 0                                | 1         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 33  | Мундштучне пресування        | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 34  | Інжекційне пресування        | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 35  | Сушка заготовок              | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 36  | Попереднє спікання           | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 37  | Гідравлічне допресування     | 0                         | 0                              | 0  | 1                         | 0                                | 1         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 38  | Зворотні центри              | 0                         | 1                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 39  | фрезерування канавок         | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 310 | Шліфування канавок           | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 311 | Остаточне спікання           | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 312 | Відрізання робочої частини   | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |
| 313 | Відрізання хвостової частини | 0                         | 0                              | 0  | 0                         | 0                                | 0         | 0                             | 0                           | 0                  |



|         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31<br>4 | Безцентрове шліфування хвостовика           | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31<br>5 | Шліфування торців робочої частини           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31<br>6 | Точіння торців хвостовика                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31<br>7 | Зварювання тертям                           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| М<br>1  | Шліфування хвостовика в розмір              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| М<br>2  | Безцентрове шліфування                      | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| М<br>3  | Шліфування центрів                          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| М<br>4  | Вишліфовування канавок                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| М<br>5  | Безцентрове шліфування стрічок і хвостовика | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| М<br>6  | Шліфування стрічок хвостовика в центрах     | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| М<br>7  | Вишліфовування спинки                       | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| М<br>8  | Шліфування посадкового торця                | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| М<br>9  | Електроерозійна обробка усупів              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| М<br>10 | Вишліфовування уступів                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| М<br>11 | Вишліфовування лиски на хвостовій частині   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| М<br>12 | Одноплощинне заточування                    | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| М<br>13 | Двохплощинне заточування                    | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| М<br>14 | Підточка перемички                          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| М<br>15 | Заточка допоміжної задньої поверхні         | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| П1      | Полірування канавок                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| П2      | Поліровка стрічок на безцентровому верстаті | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| П3      | МАО   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| П4      | Нанесення покриття                          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| П5      | Очищення в ультразвуковій ванні             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| П6      | Маркування                                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| П7      | Пакування                                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## ДОДАТОК В

Реалізація алгоритму пошуку оптимального маршруту технологічного процесу для виготовлення деталі «змінна різальна головка»

```
from collections import defaultdict, deque
class Graph(object):
    def __init__(self):
        self.nodes = defaultdict(list)
        self.edges = defaultdict(list)
    def add_node(self, name, value):
        self.nodes[name].append(value)
    def add_edge(self, from_node, to_node):
        self.edges[from_node].append(to_node)
def anti_dijkstra(graph, initial):
    visited = {initial: graph.nodes[initial][0]}
    path = {}
    nodes = set(graph.nodes)
    while nodes:
        max_node = None
        for node in nodes:
            if node in visited:
                if max_node is None:
                    max_node = node
                elif visited[node] > visited[max_node]:
                    max_node = node
        if max_node is None:
            break
        nodes.remove(max_node)
        current_weight = visited[max_node]
        for edge in graph.edges[max_node]:
            try:
                weight = current_weight + graph.nodes[edge][0]
            except:
                continue
            if edge not in visited or weight < visited[edge]:
                visited[edge] = weight
                path[edge] = max_node
        return visited, path
def shortest_path(graph, origin, destination):
    visited, paths = anti_dijkstra(graph, origin)
    full_path = deque()
    _destination = paths[destination]
    while _destination != origin:
        full_path.appendleft(_destination)
        _destination = paths[_destination]
    full_path.appendleft(origin)
```

```

    full_path.append(destination)
    return visited[destination], list(full_path)
def dernovoy(graph, initial_node):
    result = list()
    max = 0
    visited = anti_dijkstra(graph, initial=initial_node)[0]
    for node in visited:
        if node == initial_node:
            continue
        path_to_node = shortest_path(graph, initial_node, node)
        power = path_to_node[0]
        len_path = len(path_to_node[1])
        func = power / float(len_path)
        print(func)
        print(path_to_node)
        if func > max:
            max = func
            result = [
                {
                    'power': func,
                    'path': path_to_node[1]
                }
            ]
        elif func == max:
            result.append(
                {
                    'power': func,
                    'path': path_to_node[1]
                }
            )
    return result
graph = Graph()
nodes = {'30': 0, '31': 10, '32': 4, '33': 5, '34': 5, '35': 0, '36': 0, '37': 8, '38': 2, '39': 2, '310':
1, '311': 0, '312': 1, '313': 1, '314': 0, '315': 0, '316': 1, '317': 0, 'M1': 5, 'M2': 6, 'M3': 1, 'M4': 2,
'M5': 4, 'M6': 4, 'M7': 2, 'M8': 2, 'M9': 1, 'M10': 1, 'M11': 2, 'M12': 3, 'M13': 6, 'M14': 2, 'M15':
30}
for key in nodes:
    graph.add_node(key, nodes[key])

graph.add_edge('30', '31')
graph.add_edge('31', '32')
graph.add_edge('31', '33')
graph.add_edge('31', '34')
graph.add_edge('32', '35')
graph.add_edge('33', '35')
graph.add_edge('34', '35')
graph.add_edge('35', '36')
graph.add_edge('36', '37')
graph.add_edge('36', '38')

```

```

graph.add_edge('37', '311')
graph.add_edge('38', '39')
graph.add_edge('38', '310')
graph.add_edge('39', '311')
graph.add_edge('310', '311')
graph.add_edge('30', '312')
graph.add_edge('312', '314')
graph.add_edge('312', '313')
graph.add_edge('313', '315')
graph.add_edge('315', '316')
graph.add_edge('316', '317')
graph.add_edge('317', 'M1')
graph.add_edge('M1', 'M2')
graph.add_edge('M1', 'M2')
graph.add_edge('M2', 'M7')
graph.add_edge('M7', 'M4')
graph.add_edge('M4', 'M9')
graph.add_edge('M4', 'M10')
graph.add_edge('M9', 'M3')
graph.add_edge('M10', 'M3')
graph.add_edge('317', 'M3')
graph.add_edge('M3', 'M5')
graph.add_edge('M3', 'M6')
graph.add_edge('M5', 'M8')
graph.add_edge('M6', 'M8')
graph.add_edge('M8', 'M11')
graph.add_edge('M11', 'M12')
graph.add_edge('M11', 'M13')
graph.add_edge('M13', 'M14')
graph.add_edge('M12', 'M15')
graph.add_edge('M14', 'M15')

```

```

dernovoy_test = dernovoy(graph, '30')

```

```

print(dernovoy_test)

```

## ДОДАТОК Г

Приклад коду керуючої програми для оброблення свердла на  
токарно-фрезерному верстаті з ЧПК

Блок налаштування верстата:

O1001

N10 G98 G18

N11 G21

N12 G50 S6000

N13 M31

N14 G53 G0 X0.

Токарна операція по чорновому точінню:

N15 T800

N16 G99

N17 M22

N18 G97 S921 M3

N19 G54

N20 M8

N21 G0 X31.6 Z5.

N22 G50 S6000

N23 G96 S91 M3

N24 G0 Z-1.045

N25 X11.3

N26 G1 Z-93.155 F0.127

N27 X12.8

N28 G0 Z-0.8

N29 X9.8

N30 Z-1.045

N31 G1 Z-2.545 F0.127

N32 Z-7.346

N33 X10.2 Z-7.677

N34 Z-93.155

N35 X11.3

N36 X13.3 Z-92.155

N37 G0 X12.8

N38 Z-1.045

N39 X31.6

N40 Z5.

N41 G97 S921 M3

N42 M9

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 124  |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |



N43 M33  
N44 G53 X0.  
N45 G53 Z0.  
N46 M30

Мульти-контурна обробка гвинтової канавки свердла сферичною фрезою:

N25 T6 M6  
N30 S5000 M3  
N35 G54  
N40 M8  
N45 G43.5 G0 I-0.013 J-0.261 K0.965  
N50 X3.528 Y-0.757  
N55 Z15.  
N60 X3.528 Y-0.757 Z15. I-0.013327 J-0.261272 K0.965173  
N65 X3.528 Y-0.757 Z-0.518 I-0.013327 J-0.261272 K0.965173  
N70 G1 X3.557 Y-0.181 Z-2.645 I-0.013327 J-0.261272 K0.965173 F1000.  
N75 X2.793 Y-0.142 Z-2.645 I-0.013327 J-0.261272 K0.965173  
N80 X2.793 Y-0.142 Z-2.645 I-0.013327 J-0.261272 K0.965173  
N85 X2.766 Y-0.688 Z-0.628 I-0.013327 J-0.261272 K0.965173  
N90 G0 X2.766 Y-0.688 Z5. I-0.013327 J-0.261272 K0.965173  
N95 X3.064 Y-0.474 Z5. I0.058801 J-0.224718 K0.972648  
N100 X3.362 Y-0.26 Z5. I0.130541 J-0.186681 K0.973709  
N105 X3.661 Y-0.045 Z5. I0.201421 J-0.147413 K0.968349  
N110 X3.959 Y0.169 Z5. I0.270972 J-0.107173 K0.956602  
N115 X4.257 Y0.384 Z5. I0.338736 J-0.066226 K0.938548  
N120 X4.556 Y0.598 Z5. I0.404267 J-0.024843 K0.914304  
N125 X4.854 Y0.813 Z5. I0.467131 J0.016704 K0.88403  
N130 X5.153 Y1.027 Z5. I0.526915 J0.058141 K0.847927  
N135 X5.451 Y1.242 Z5. I0.583224 J0.099195 K0.806232  
N140 X5.749 Y1.456 Z5. I0.635687 J0.139595 K0.75922  
N145 X6.048 Y1.671 Z5. I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N150 X6.048 Y1.671 Z-1.091 I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N155 G1 X6.033 Y1.667 Z-1.168 I0.683958 J0.179074 K0.707202 F1000.  
N160 X5.991 Y1.656 Z-1.233 I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N165 X4.76 Y1.334 Z-2.506 I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N170 X4.712 Y1.306 Z-2.559 I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N175 X4.678 Y1.253 Z-2.604 I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N180 X4.663 Y1.183 Z-2.634 I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N185 X4.671 Y1.107 Z-2.645 I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N190 X4.673 Y1.097 Z-2.645 I0.683958 J0.179074 K0.707202  
N195 X4.675 Y1.087 Z-2.645 I0.689611 J0.153808 K0.707658  
N200 X4.678 Y1.077 Z-2.645 I0.691393 J0.145363 K0.707704

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   | 125  |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

N205 X4.68 Y1.067 Z-2.645 I0.691393 J0.145363 K0.707704  
 N210 X4.682 Y1.057 Z-2.645 I0.691393 J0.145363 K0.707704  
 N215 X4.684 Y1.047 Z-2.645 I0.691393 J0.145363 K0.707704  
 N220 X4.687 Y1.037 Z-2.645 I0.691393 J0.145363 K0.707704  
 N225 X4.689 Y1.027 Z-2.645 I0.691393 J0.145363 K0.707704  
 N230 X4.691 Y1.018 Z-2.645 I0.691393 J0.145363 K0.707704  
 N235 X4.693 Y1.008 Z-2.645 I0.691393 J0.145363 K0.707704  
 ...

|     |      |          |        |      |                   |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|     |      |          |        |      | ПЗ.ДП.МІ.6106.000 | Лист |
|     |      |          |        |      |                   |      |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                   | 126  |

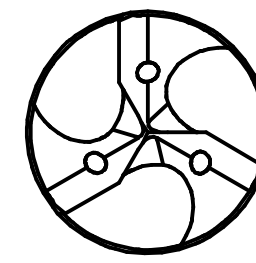
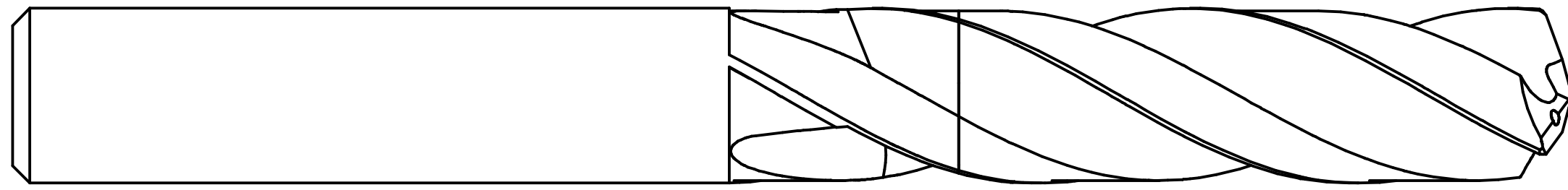
| Формат       | Зона         | Поз.           | Позначення        | Найменування                      | Кть.   | Познач-<br>ки  |       |         |
|--------------|--------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|--|--|-------|---------|
|              |              |                |                   |                                   |  |  |       |         |
|              |              |                |                   | Документація                      |  |  |       |         |
|              |              |                |                   |                                   |  |  |       |         |
|              |              |                | ДП.6106.05.000.СК | Складальне креслення              | 1  |  |       |         |
|              |              |                |                   |                                   |  |  |       |         |
|              |              |                |                   |                                   |  |  |       |         |
|              |              |                |                   |                                   |  |  |       |         |
|              |              |                |                   | Деталі                            |  |  |       |         |
|              |              |                |                   |                                   |  |  |       |         |
|              |              | 2              | ДП.6106.05.001    | Вал водила                        | 1  |  |       |         |
|              |              | 5              | ДП.6106.05.002    | Кільце дистанційне 35 мм          | 1  |  |       |         |
|              |              | 7              | ДП.6106.05.003    | Чашка                             | 1  |  |       |         |
|              |              | 8              | ДП.6106.05.004    | Водило другої ступені             | 1  |  |       |         |
|              |              | 9              | ДП.6106.05.005    | Палець сателіта другої ступені    | 6  |  |       |         |
|              |              | 10             | ДП.6106.05.006    | Сонячне колесо другої ступені     | 1  |  |       |         |
|              |              | 11             | ДП.6106.05.007    | Сателіт другої ступені            | 6  |  |       |         |
|              |              | 14             | ДП.6106.05.008    | Корончасте колесо другої ступені  | 1  |  |       |         |
|              |              | 19             | ДП.6106.05.009    | Водило першої ступені             | 1  |  |       |         |
|              |              | 20             | ДП.6106.05.010    | Палець сателіта першої ступені    | 3  |  |       |         |
|              |              | 21             | ДП.6106.05.011    | Сателіт першої ступені            | 3  |  |       |         |
|              |              | 24             | ДП.6106.05.012    | Сонячне колесо першої ступені     | 1  |  |       |         |
|              |              | 25             | ДП.6106.05.013    | Корончасте колесо першої ступені  | 1  |  |       |         |
|              |              | 28             | ДП.6106.05.014    | Шліцева коронка                   | 1  |  |       |         |
|              |              | 29             | ДП.6106.05.015    | Кільце дистанційне першої ступені | 1  |  |       |         |
|              |              | 31             | ДП.6106.05.016    | Кожух корпусу                     | 1  |  |       |         |
|              |              | 32             | ДП.6106.05.017    | Кришка задня                      | 1  |  |       |         |
|              |              | 34             | ДП.6106.05.018    | Шток                              | 1  |  |       |         |
|              |              | 36             | ДП.6106.05.019    | Патрон цанговий                   | 1  |  |       |         |
|              |              |                |                   |                                   |  |  |       |         |
| Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. №   | ДП.6106.05.000СП  |                                   |  |  |       |         |
|              |              |                | Ізм.              | Лист                              | № докум  | Підпись  | Дата  |         |
| Інв. № подл  | Розроб.      | Дерновий О.В.  |                   | 23.12.                            | Пристосування для<br>шліфування гвинтових<br>каналок | Літера   | Аркуш | Аркушів |
|              | Перев.       | Івановський О. |                   |                                   |  |  | 1     | 2       |
|              | Нач.від.     |                |                   |                                   |  | Національний технічний університет України "КПІ імені Ігоря Сікорського" |       |         |
|              | Н.контр      |                |                   |                                   |  | Формат А4  |       |         |
|              | Затв.        |                |                   |                                   |  |  |       |         |

| Формат      | Зона   | Поз.     | Позначення     | Найменування                      | Кть. | Познач-<br>ки |
|-------------|--|----------|----------------|-----------------------------------|------|---------------|
|             |  | 36       | ДП.6106.05.020 | Патрон цанговий                   | 1    |               |
|             |  | 37       | ДП.6106.05.021 | Цанга ER25 10 мм                  | 1    |               |
|             |  | 38       | ДП.6106.05.022 | Гайка цангового патрона           | 1    |               |
|             |  | 39       | ДП.6106.05.023 | Кришка передня                    |      |               |
|             |  | 41       | ДП.6106.05.024 | Сальник вхідного вала             |      |               |
|             |  | 42       | ДП.6106.05.025 | Вороток обертальний               |      |               |
|             |  | 44       | ДП.6106.05.026 | Ручка воротка                     |      |               |
|             |  | 48       | ДП.6106.05.027 | Стійка                            |      |               |
|             |  |          |                |                                   |      |               |
|             |  |          |                |                                   |      |               |
|             |  |          |                |                                   |      |               |
|             |  |          |                | Стандартні вироби                 |      |               |
|             |  | 6        |                | DIN 471 - 35x17,5                 | 1    |               |
|             |  | 13       |                | DIN 471 - 3x0,4                   | 12   |               |
|             |  | 15       |                | ISO 2338 - 4 т6 x 14 - А          | 2    |               |
|             |  | 16       |                | ISO 4762 - M4 x 25                | 8    |               |
|             |  | 17       |                | ISO 2338-4 т6 x 12 - А            | 2    |               |
|             |  | 18       |                | DIN 7991 - M4x12                  | 8    |               |
|             |  | 23       |                | DIN 471 - 4 x 0,4                 | 6    |               |
|             |  | 33       |                | SKF B7213 BE                      | 2    |               |
|             |  | 40       |                | ISO 6194/1 - 50 x 68 x 8 - Type 3 | 1    |               |
|             |  | 43       |                | DIN 6915 - M12                    | 1    |               |
|             |  | 45       |                | DIN 938 - M6x25                   | 1    |               |
|             |  | 46       |                | DIN 6912 - M4 x 16                | 8    |               |
|             |  | 47       |                | DIN 7984 - M4x6                   | 14   |               |
|             |  | 3        |                | 320/32 X                          | 2    | Конічний      |
|             |  |          |                |                                   |      | Роликовий     |
|             |  |          |                |                                   |      | підшипник     |
|             |  | 4        |                | W 61707-2RS1                      | 1    | Радіально-    |
|             |  |          |                |                                   |      | опорний       |
|             |  |          |                |                                   |      | підшипник     |
|             |  |          |                |                                   |      |               |
| Инв. № подл | <div>Пристосування для шліфування<br/>стружкових канавок</div> |          |                |                                   |      | Аркуш         |
|             |  |          |                |                                   |      | 2             |
|             |  |          |                |                                   |      |               |
| Изм.        | Лист   | № докум. | Підп.          | Дата                              |      |               |



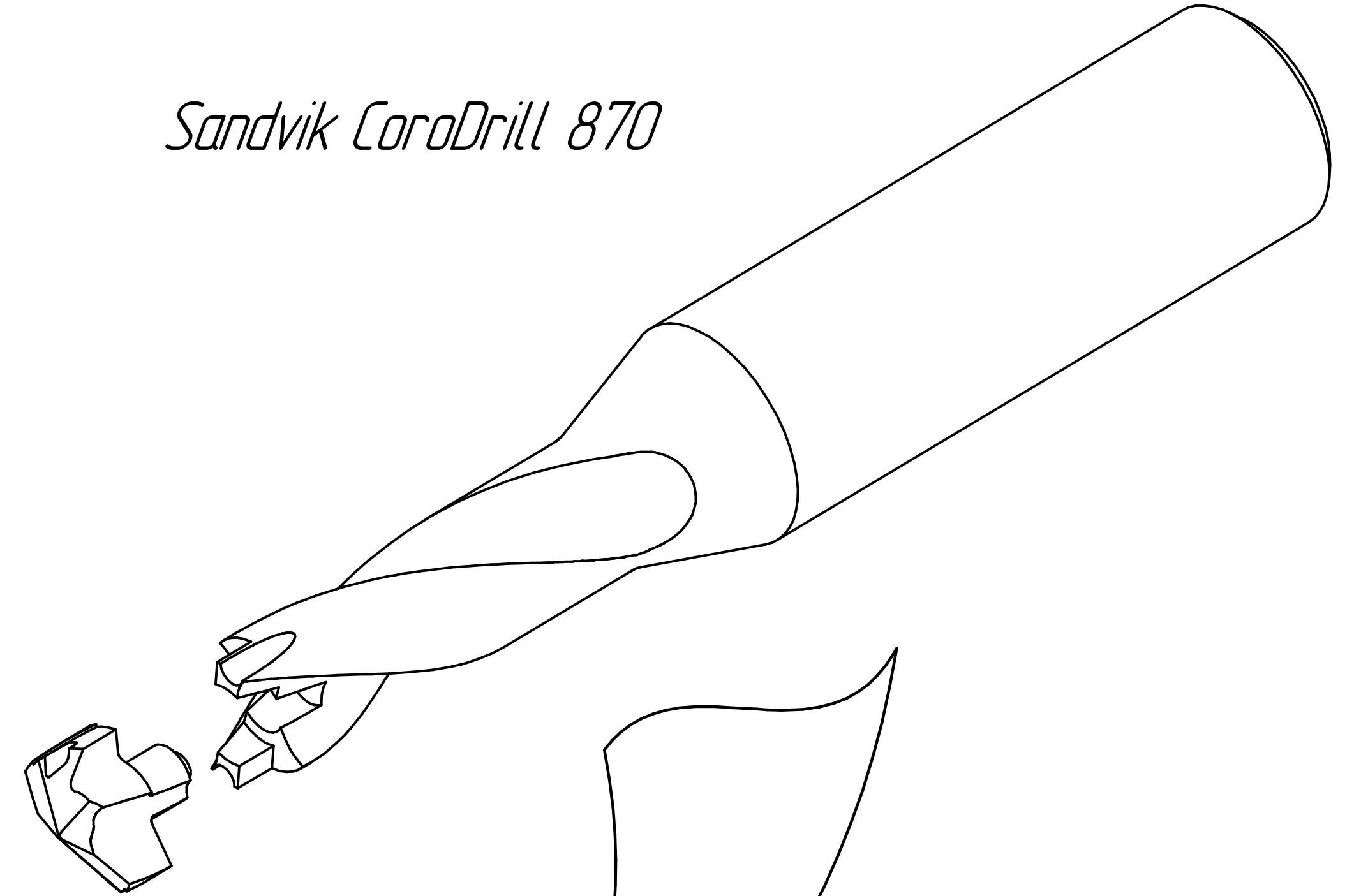
# Синтез конструкції інструмента

TaeguTec 3HD 100-035-10 P13



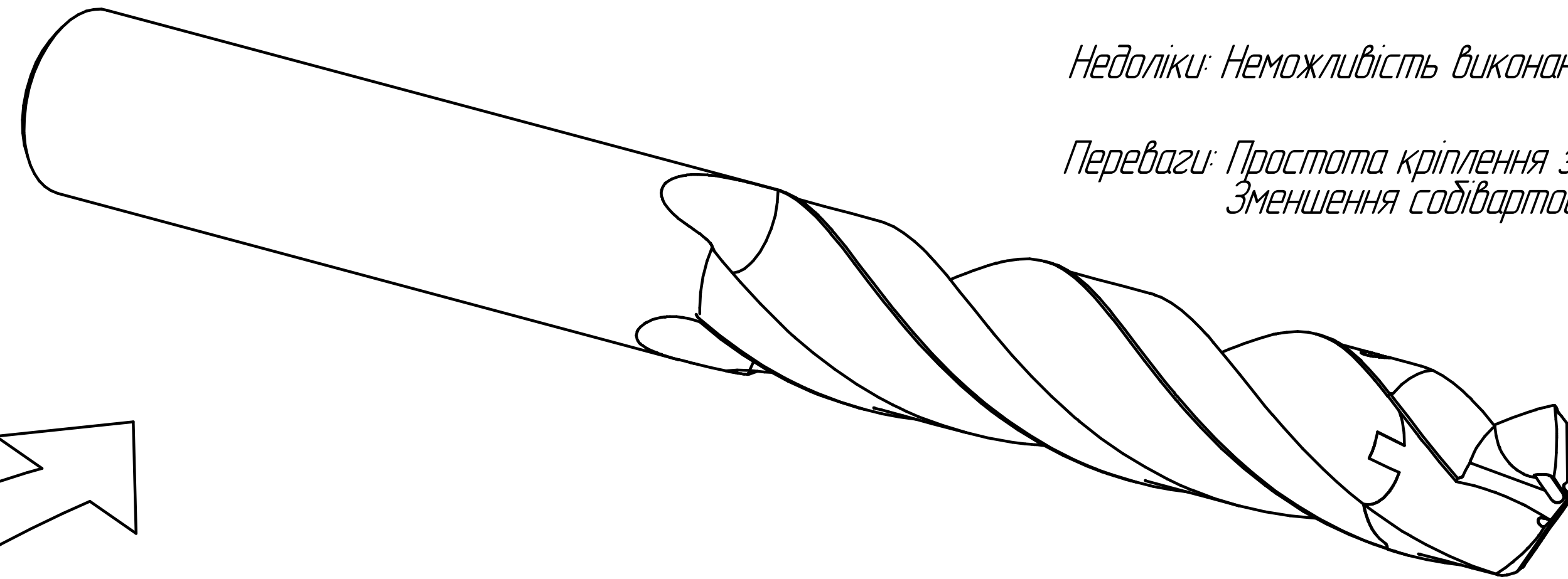
Монолітне твердосплавне свердло  
Трипера конструкція

Sandvik CoroDrill 870



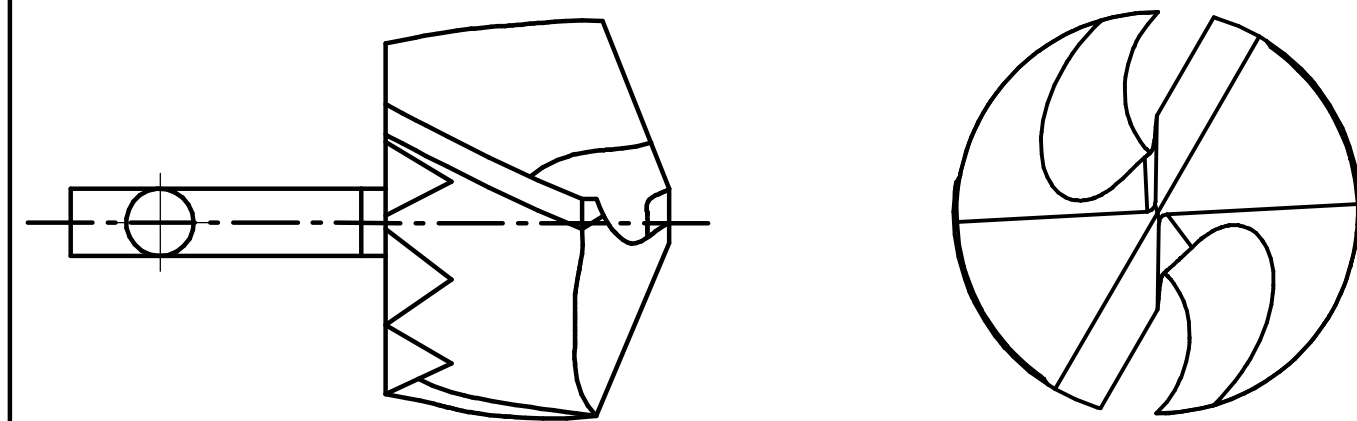
Недоліки: Неможливість виконання інструмента малого розміру

Переваги: Простота кріплення змінної головки  
Зменшення собівартості оброблених отворів

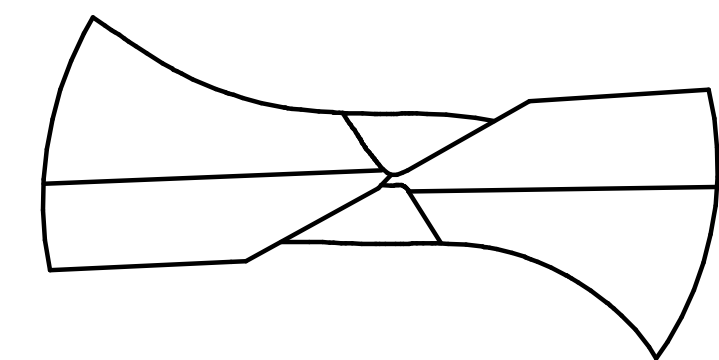


Переваги: Компактність кріплення

Недоліки: відносна складність виконання



MAPAL TTD-3F02-...HP385

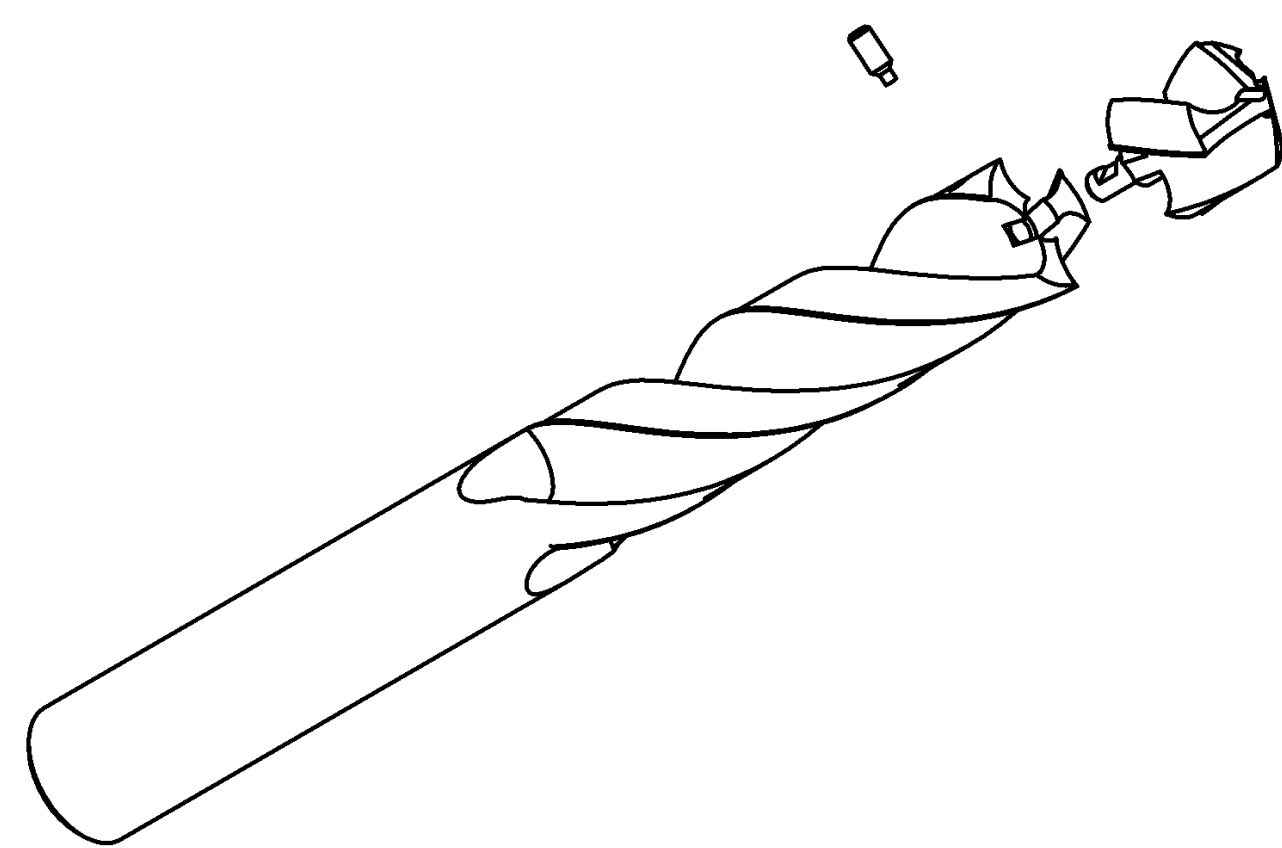
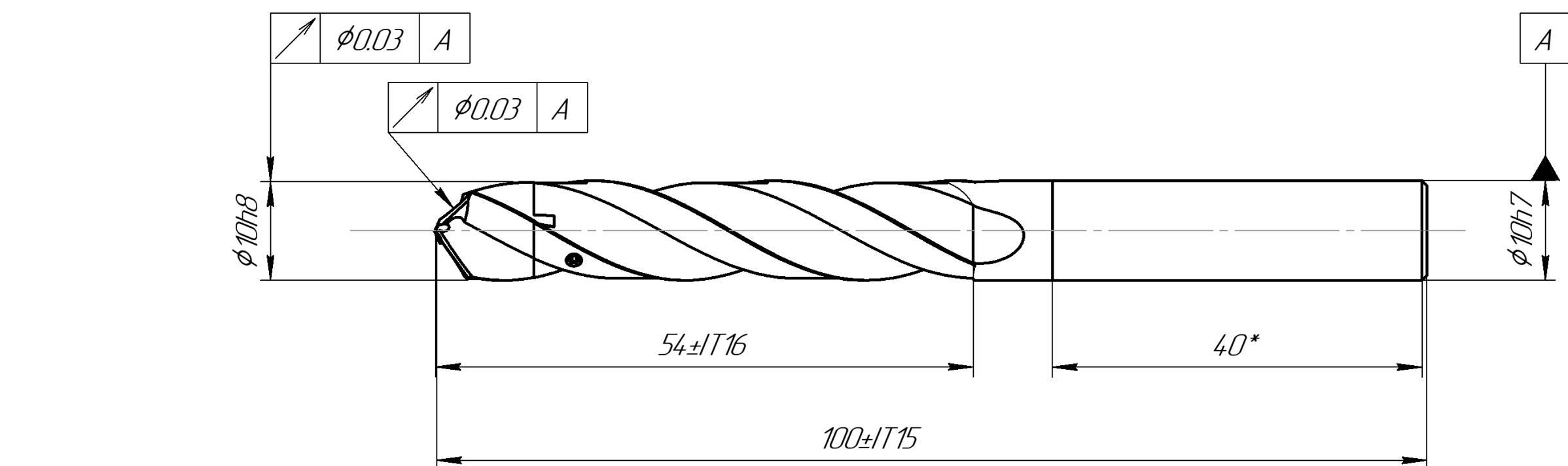


Переваги: Зменшення осьової сили за рахунок кута при вершині  
Підвищена міцність свердла

Недоліки: Неприятливі умови в процесі різання  
Ускладнення гострої заточки інструмента

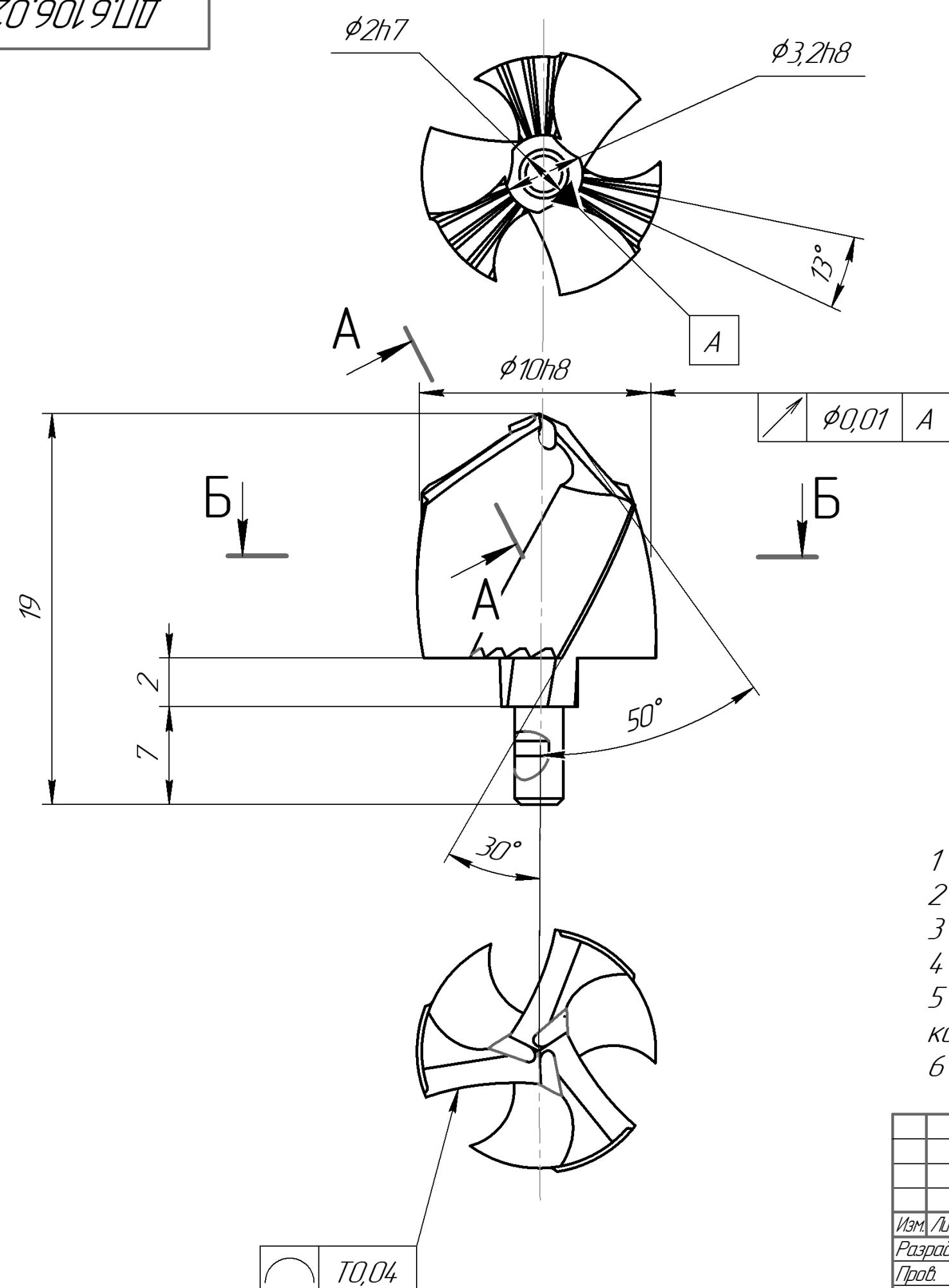


Патент US10.521 B2



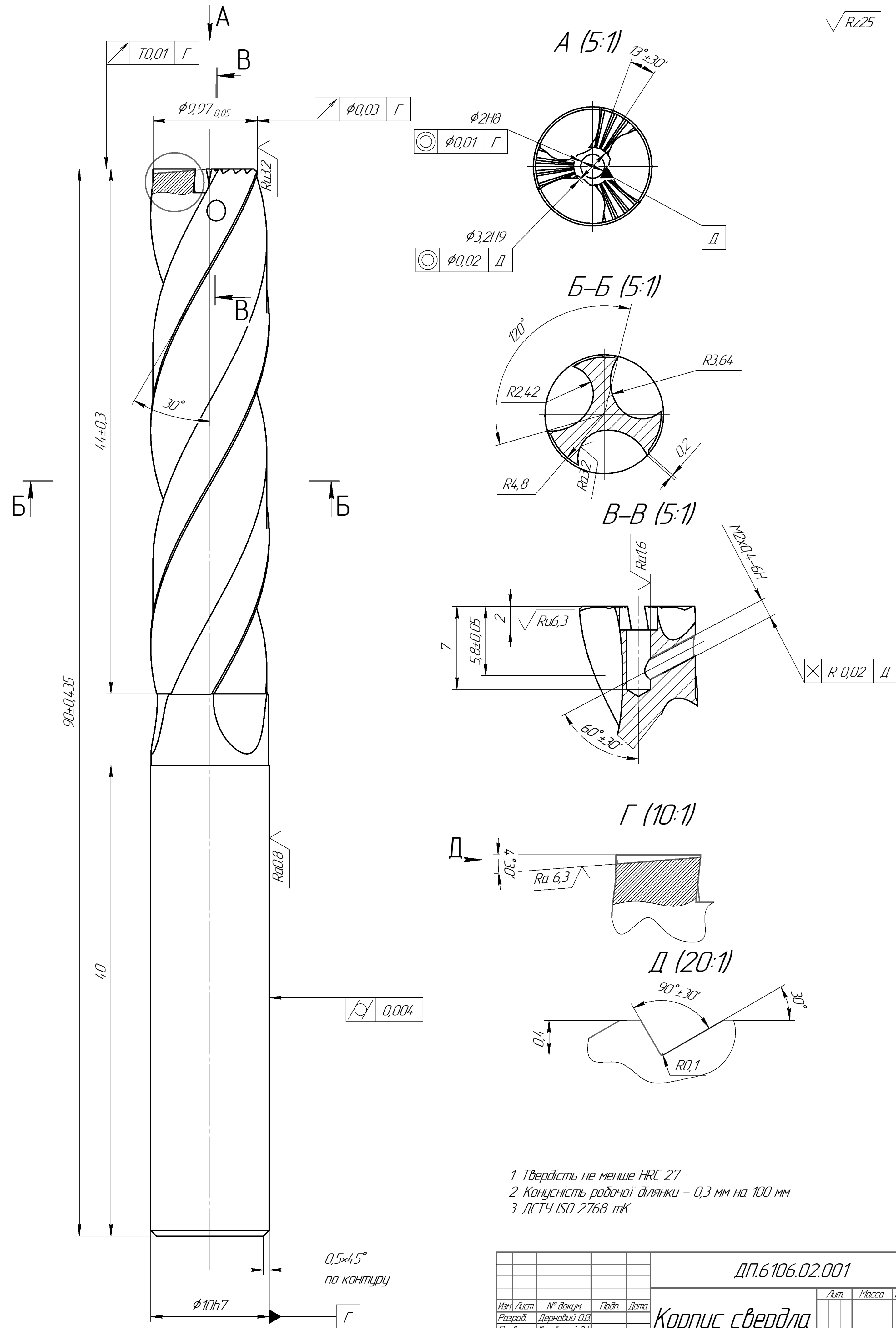
- 1 \* - Розміри для довідок  
2 Зворотня конусність по робочій частині - 0,3 мм/100 мм  
3 Критерій затуплення різальної кромки - знос по кромці 0,3 мм  
4 ДСТУ ISO 2768 - mK

|           |               |       |      |                        |  |  |        |         |
|-----------|---------------|-------|------|------------------------|--|--|--------|---------|
|           |               |       |      |                        |  | ДП.6105.02.000.ТК  |        |         |
| Ізв./Лист | № док-м       | Підп. | Дато | Збірне триперо свердло |  | Лист   | Масса  | Масштаб |
| Разроб.   | Держновий ОВБ |       |      |                        |  |  |        | 2:1     |
| Проб.     | Вановський ОА |       |      |                        |  |  |        |         |
| Т.контр.  |               |       |      |                        |  | Лист   | Листов | 1       |
| Н.контр.  |               |       |      |                        |  | Національний технічний університет України "КПІ імені Ігоря Сікорського" |        |         |
| Утв.      |               |       |      |                        |  |  |        |         |



- 1 Твердість: 915 HRA
- 2 Зворотня конусність робочої частини – 0,3 мм/100 мм
- 3 ДСТУ ISO 2768-mK
- 4 Покрыття: DLC1000
- 5 Вирізування, тріщини, чорнотини нашліфованих поверхнях, сліди корозії недопустимі.
- 6 Заточка різальної кромки гостра

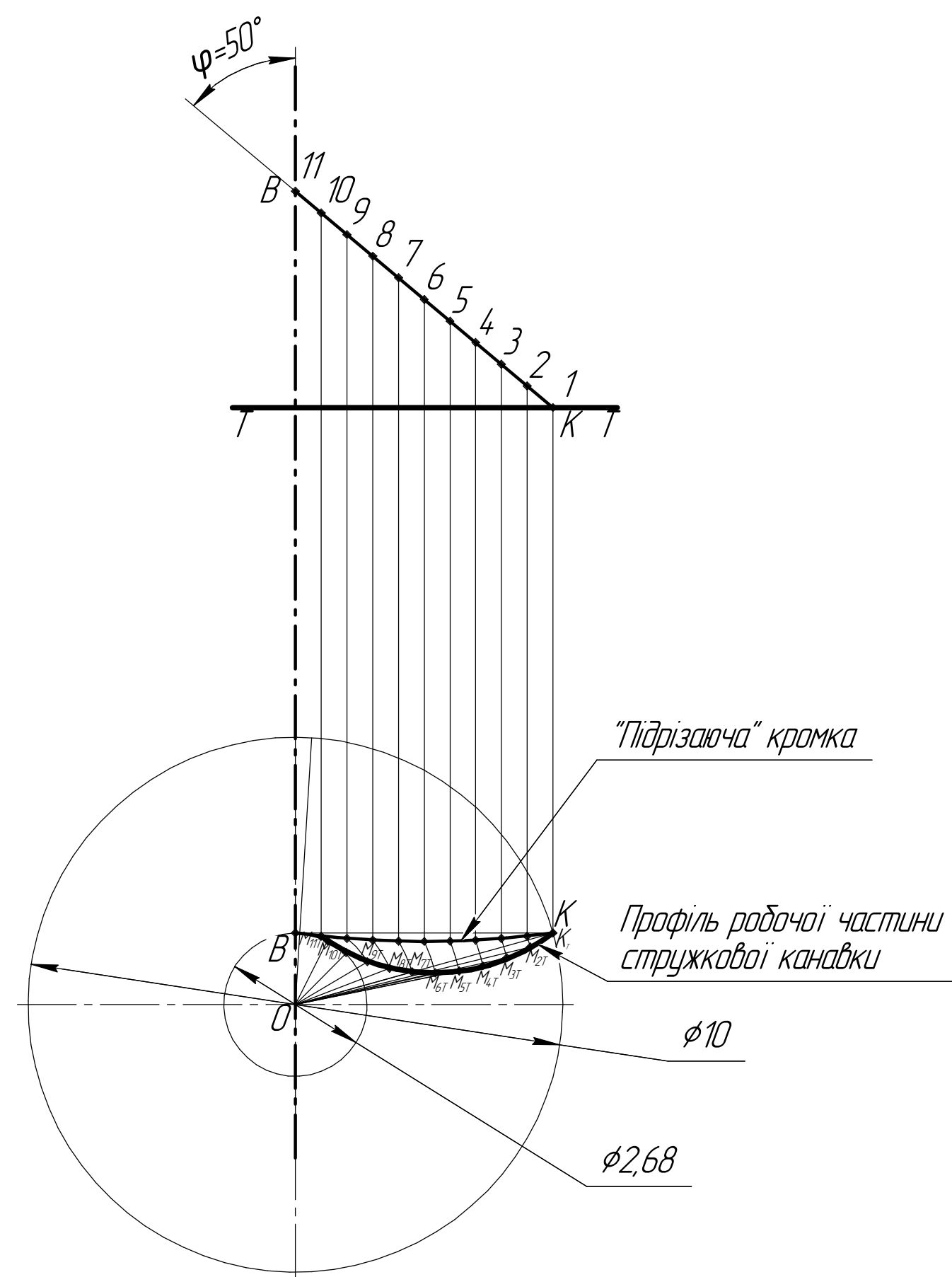
|           |                 |       |      |                         |  |  |        |         |     |
|-----------|-----------------|-------|------|-------------------------|--|--|--------|---------|-----|
|           |                 |       |      |                         |  | ДП.6106.02.002   |        |         |     |
| Изм./Лист | № докум.        | Подп. | Дата | Змінна різальна головка |  | Лист   | Масса  | Масштаб |     |
| Разработ  | Дерновий О.В.   |       |      |                         |  |  |        |         | 1:1 |
| Проект    | Юваноський О.А. |       |      |                         |  |  |        |         |     |
| Т.контр.  |                 |       |      |                         |  |  |        |         |     |
| Исполн.   |                 |       |      |                         |  |  |        |         |     |
| Утв.      |                 |       |      | ВК60М ГОСТ 3882-74      |  | Лист   | Листов | 1       |     |
|           |                 |       |      | Копирован               |  | Национальний технічний університет України "КПІ імені Ігоря Сікорського" |        |         |     |
|           |                 |       |      | Проект                  |  | Лист 42  |        |         |     |



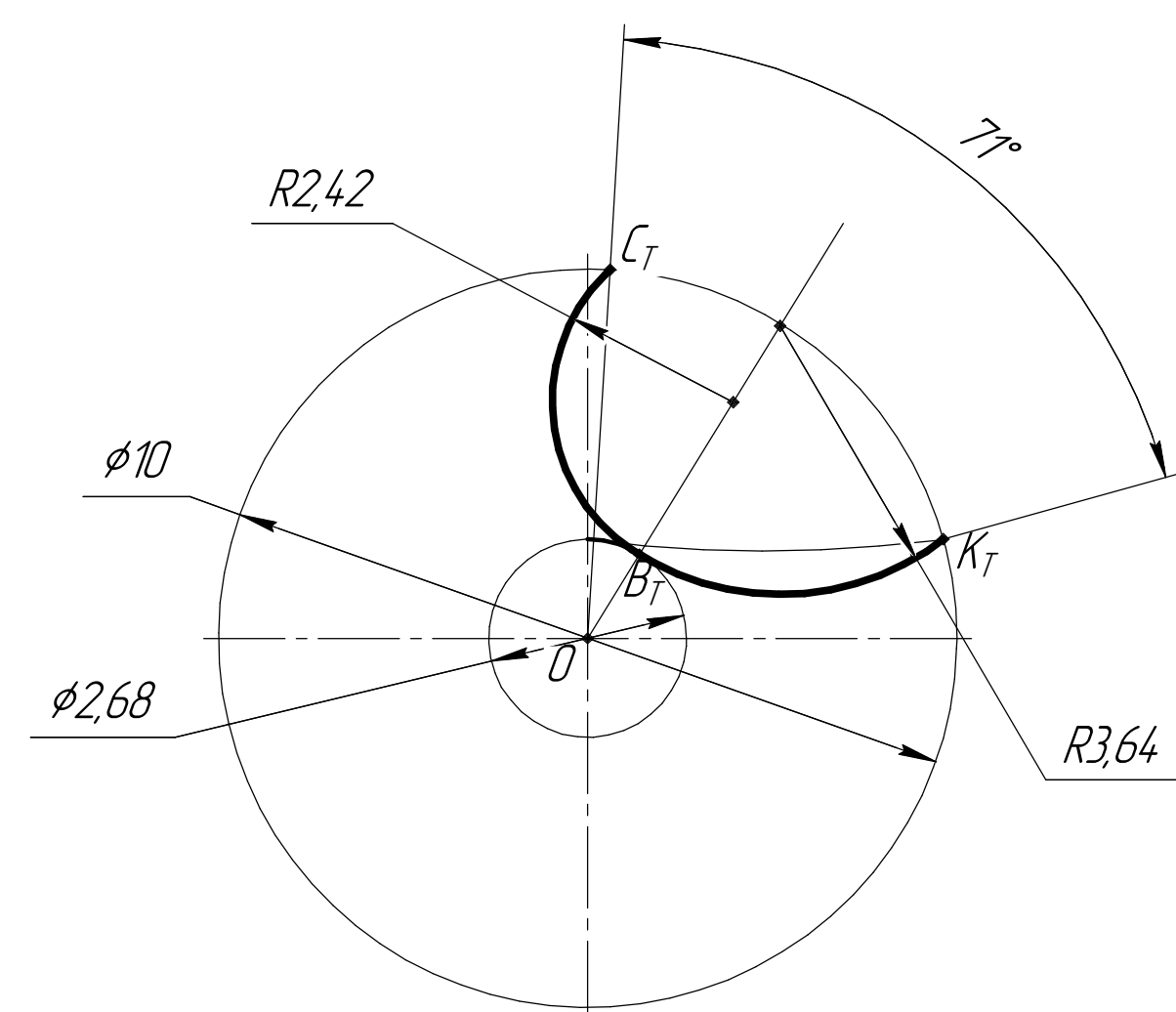
- 1 Твердість не менше HRC 27  
2 Конусність робочої ділянки – 0,3 мм на 100 мм  
3 ДСТУ ISO 2768-mK

|           |               |       |      |                          |  |                |                          |        |          |     |
|-----------|---------------|-------|------|--------------------------|--|----------------|--------------------------|--------|----------|-----|
|           |               |       |      |                          |  | ДП.6106.02.001 |                          |        |          |     |
| Изм./Лист | № докум.      | Подп. | Дата | Корпус свердла           |  |                | Лист                     | Масса  | Максимум |     |
| Разработ. | Дерзобий О.В. |       |      |                          |  |                |                          |        |          | 5:1 |
| Проект.   | Даводський ОА |       |      |                          |  |                |                          |        |          |     |
| Техцентр. |               |       |      |                          |  |                | Лист                     | Листов | 1        |     |
| Нкамер.   |               |       |      | 10(15) ГОСТ 74-17-57     |  |                | Національний технічний   |        |          |     |
| Утв.      |               |       |      | Круж.45-Б-Н ГОСТ 1051-73 |  |                | університет України "КП  |        |          |     |
|           |               |       |      |                          |  |                | імені Ігоря Сікорського" |        |          |     |

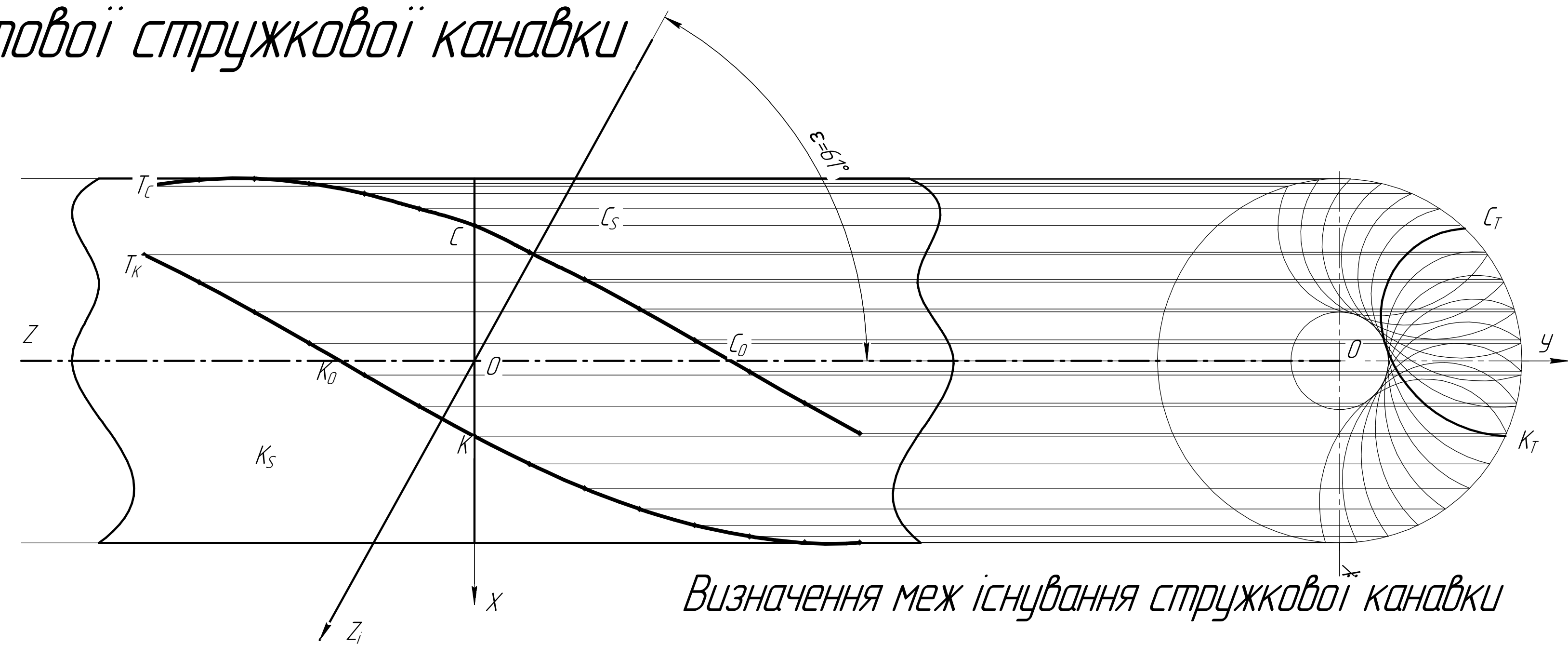
# Профілювання гвинтової стружкової канавки



Визначення робочої частини профілю

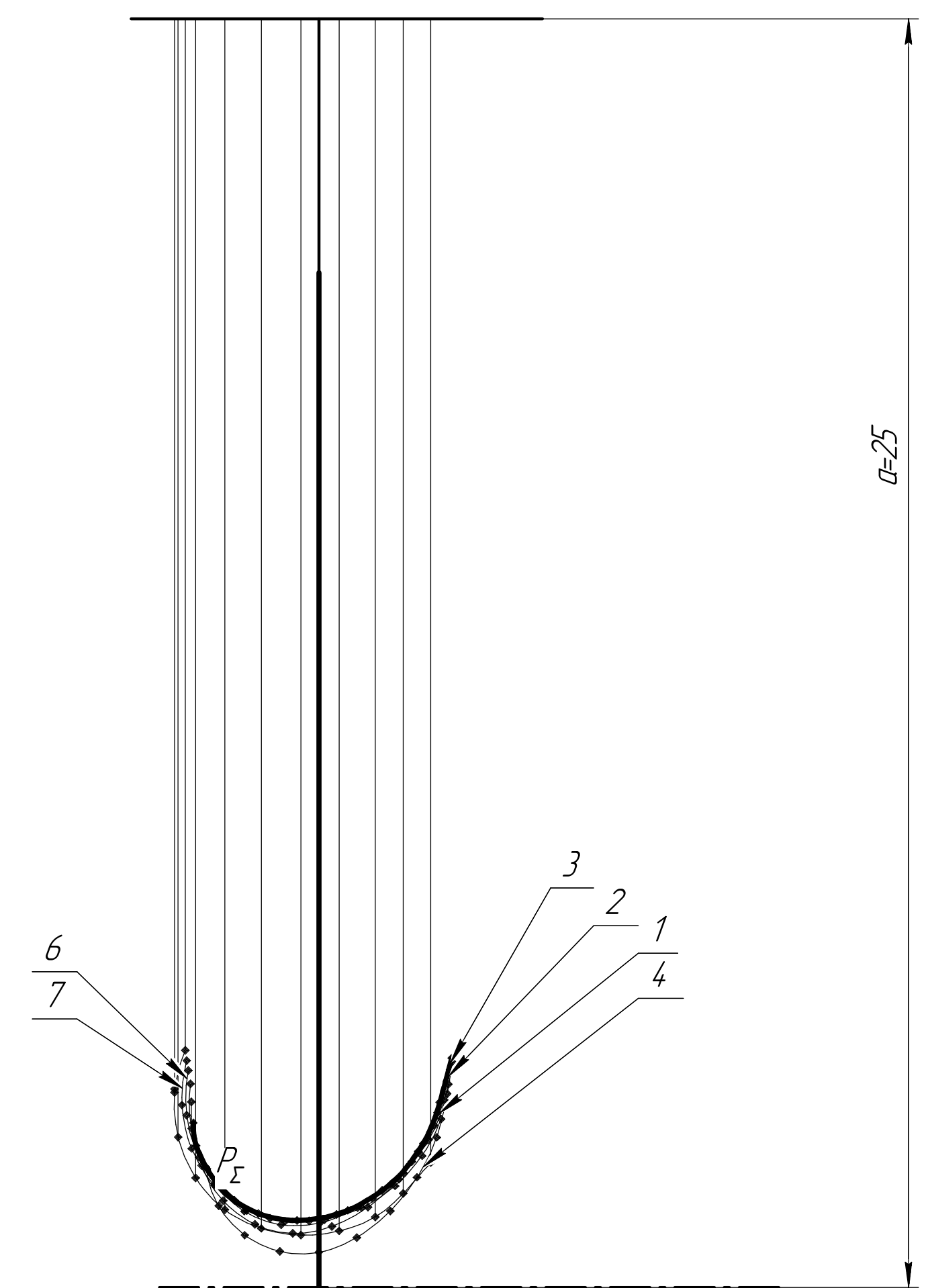
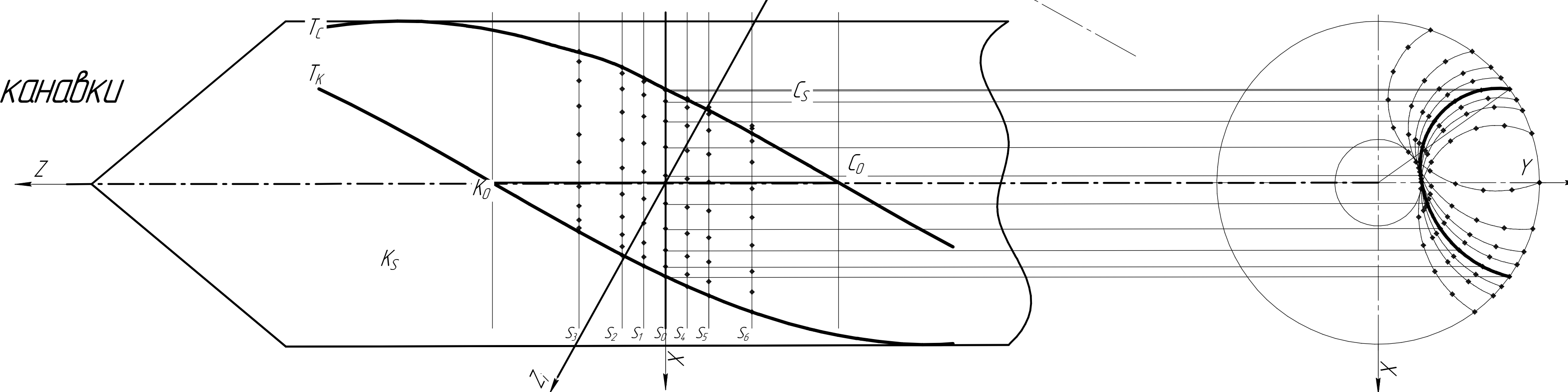


Профіль стружкової канавки



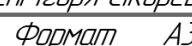
Визначення меж існування стружкової канавки

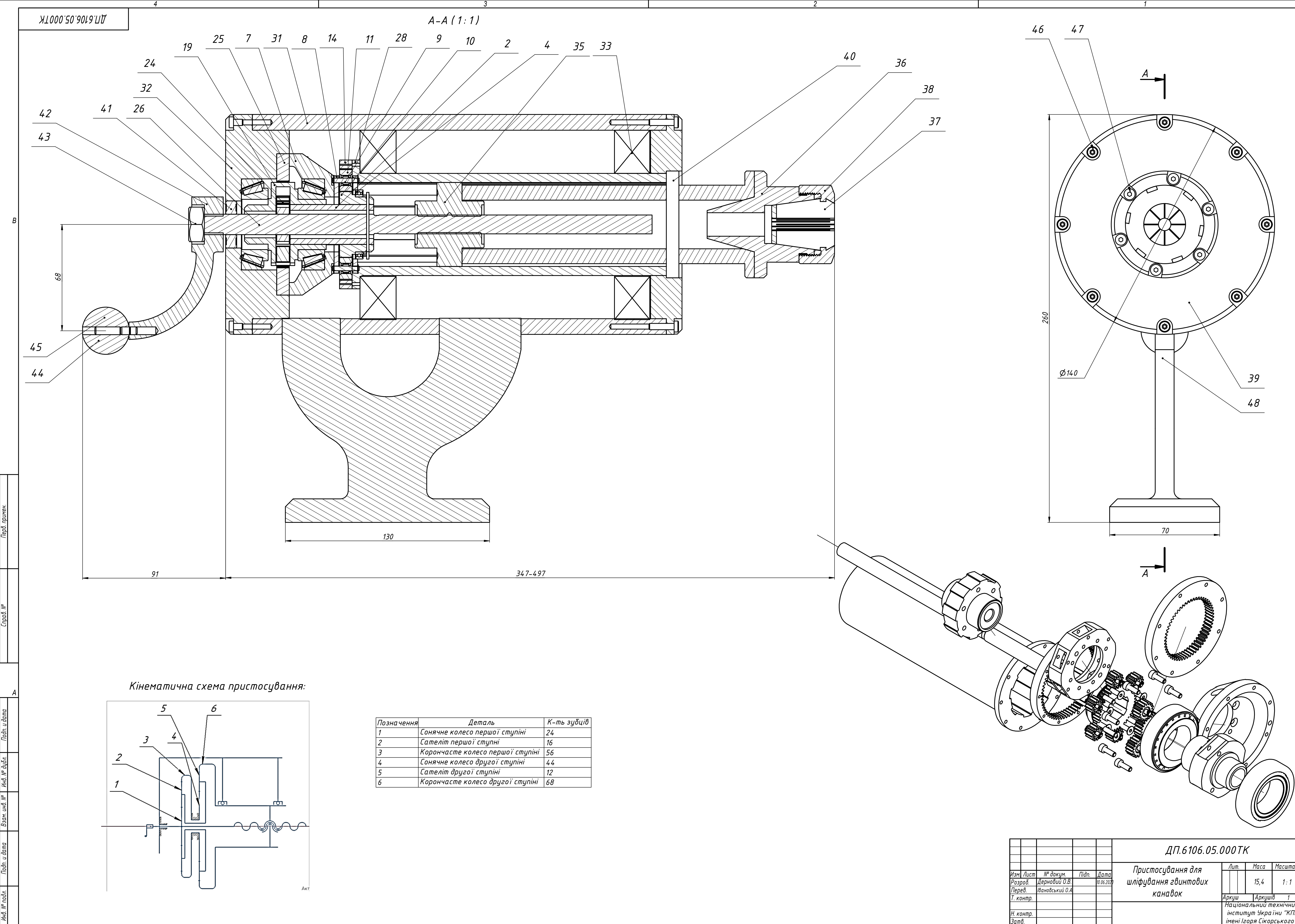
Проекції перерізу гвинтової канавки січними площинами



Осьовий переріз інструмента



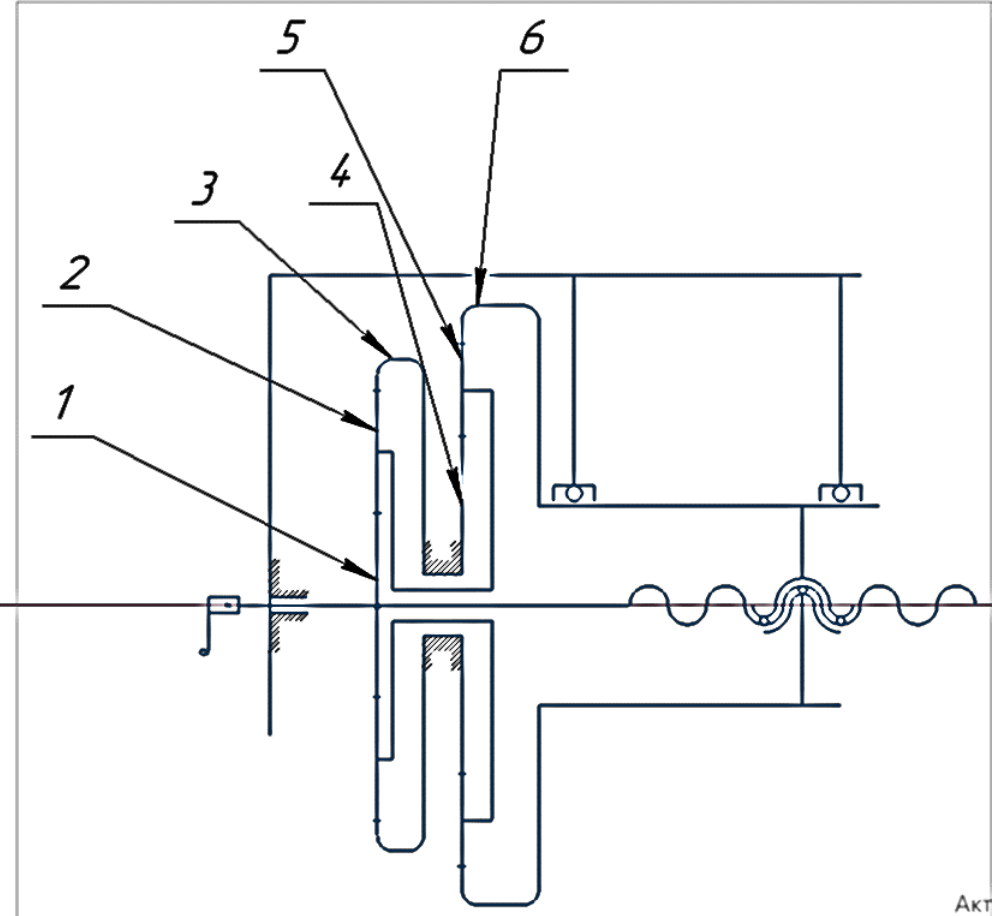




|               |
|---------------|
| Перв. примен. |
| Справ. №      |

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Изм. № подл. |
| Взам. инв. № |
| Подп. и дата |
| Изм. № подл. |

Кінематична схема пристосування:

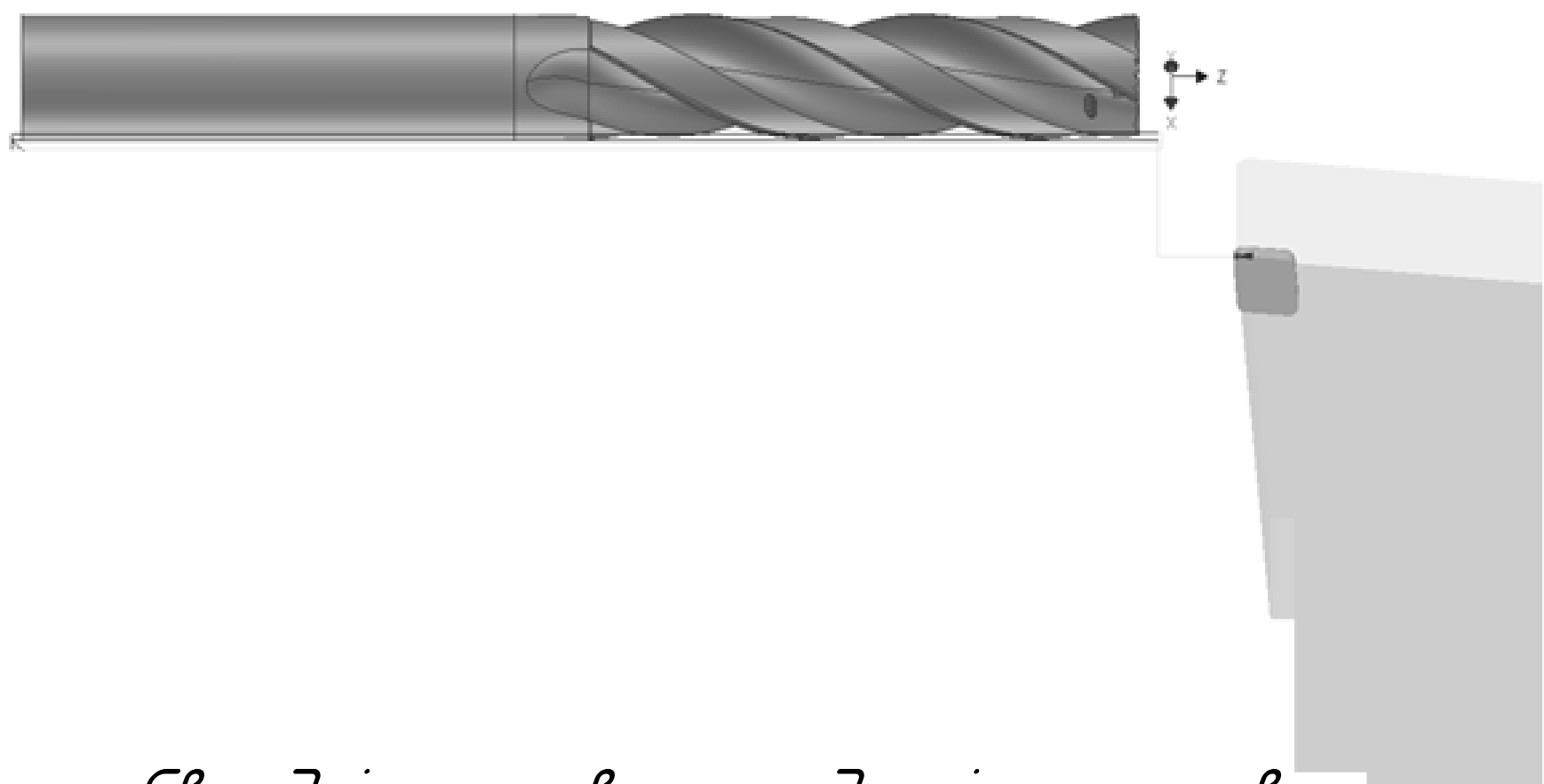


| Позначення | Деталь                           | К-ть зубців |
|------------|----------------------------------|-------------|
| 1          | Сонячне колесо першої ступіні    | 24          |
| 2          | Сателіт першої ступіні           | 16          |
| 3          | Корончасте колесо першої ступіні | 56          |
| 4          | Сонячне колесо другої ступіні    | 44          |
| 5          | Сателіт другої ступіні           | 12          |
| 6          | Корончасте колесо другої ступіні | 68          |

|  |  |  |  |   |  |  |
|--|--|--|--|---|--|--|
| ДП.6106.05.000ТК                               |  |  |  | Лист  |  |  |
| Пристосування для шліфування гвинтових канавок |  |  |  | Маса  |  |  |
|  |  |  |  | 15,4  |  |  |
|  |  |  |  | 1:1   |  |  |
|  |  |  |  | Аркуш   |  |  |
|  |  |  |  | Архів   |  |  |
|  |  |  |  | 1   |  |  |
|  |  |  |  | Національний технічний інститут України "КПІ імені Ігоря Сікорського" |  |  |
|  |  |  |  | Формат А1   |  |  |

# Виготовлення на верстаті з ЧПК

Чорнове точіння по зовнішньому діаметру

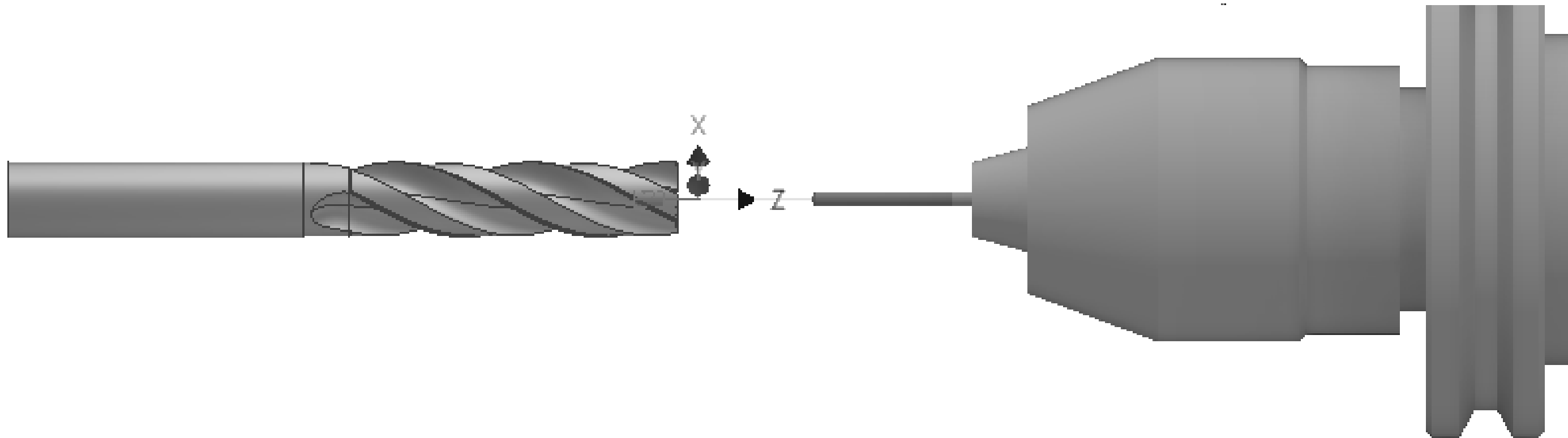


Параметри установки деталі

Setup

WCS: #0  
Stock:  
DX: 11.6mm  
DY: 11.6mm  
DZ: 95mm  
  
PART:  
DX: 10mm  
DY: 10mm  
DZ: 89.71mm  
  
Stock LOWER IN WCS #0:  
X: -5.8mm  
Y: -5.8mm  
Z: -95mm  
  
Stock UPPER IN WCS #0:  
X: 5.8mm  
Y: 5.8mm  
Z: 0mm

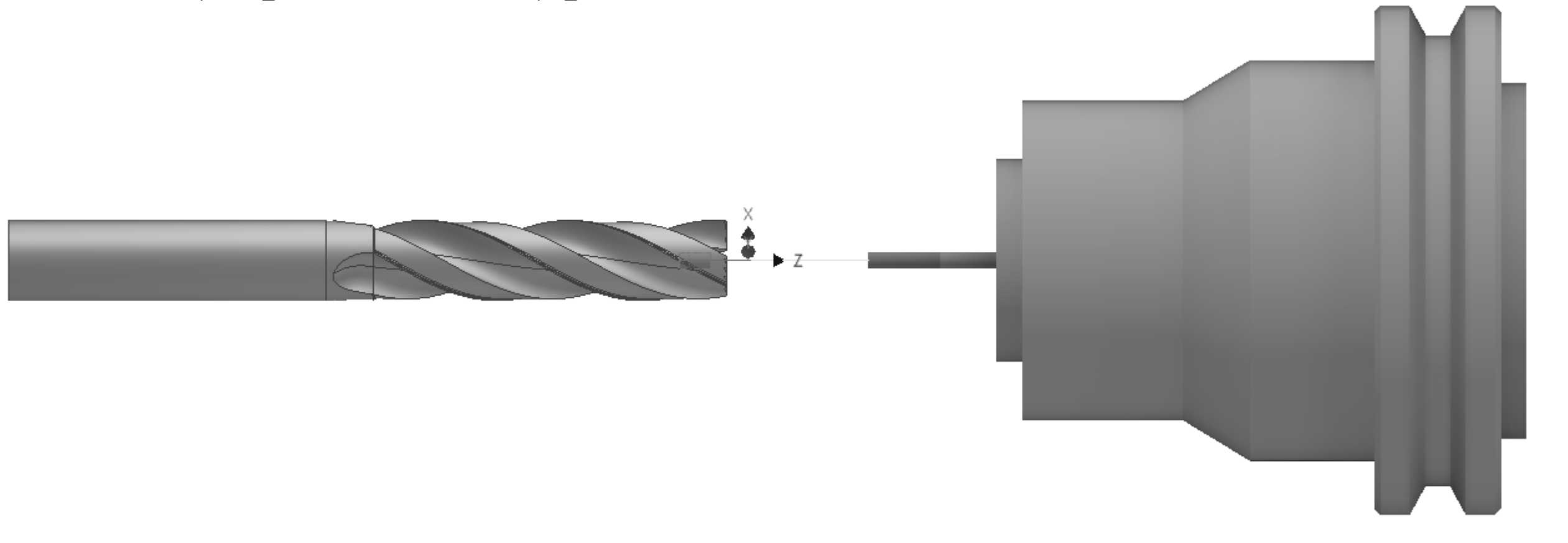
Свердління отвору под змінну головку



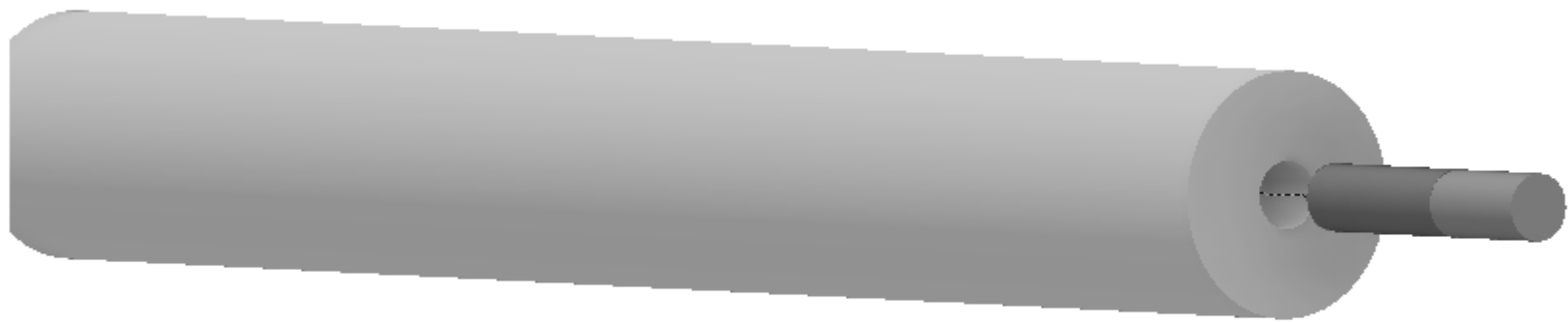
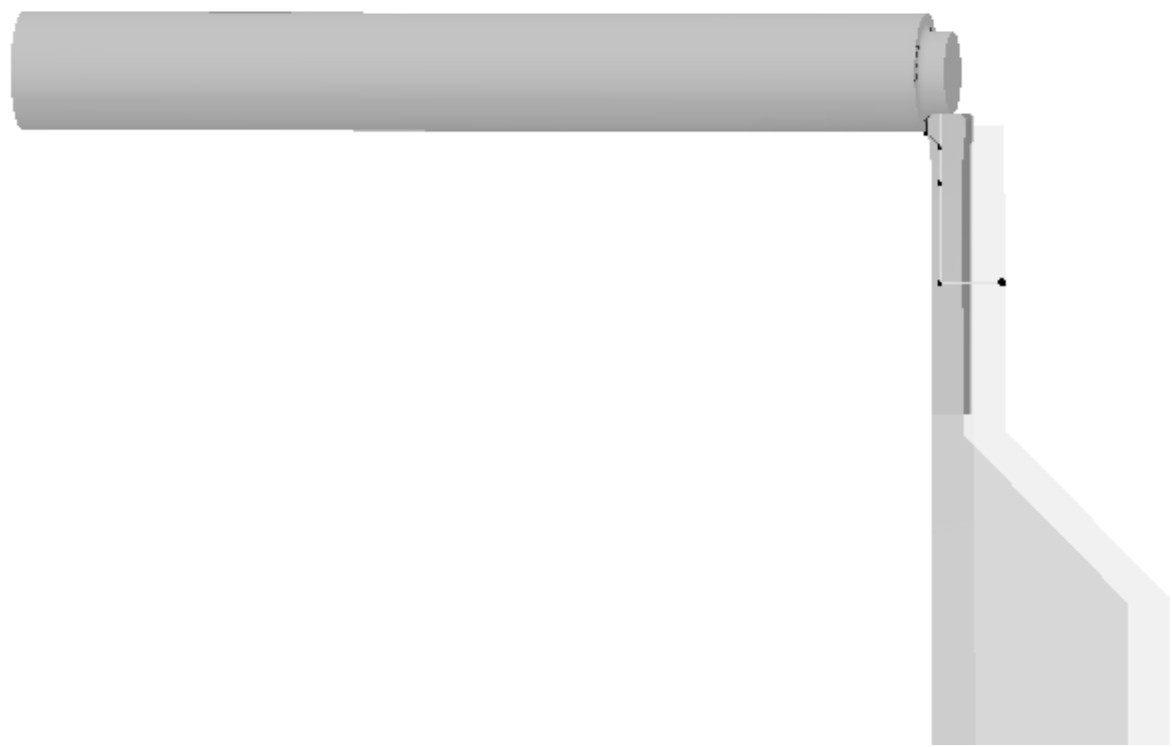
Код керуючої програми для чорнового оброблення заготовки

```
2 O1001
3 N10 G98 G18
4 N11 G21
5 N12 G50 S6000
6 N13 M31
7 N14 G53 G0 X0.
8
9 (Profile Roughing8)
10 N15 T800
11 N16 G99
12 N17 M22
13 N18 G97 S921 M3
14 N19 G54
15 N20 M8
16 N21 G0 X31.6 Z5.
17 N22 G50 S6000
18 N23 G96 S91 M3
19 N24 G0 Z-1.045
20 N25 X11.3
21 N26 G1 Z-93.155 F0.127
22 N27 X12.8
23 N28 G0 Z-0.8
24 N29 X9.8
25 N30 Z-1.045
26 N31 G1 Z-2.545 F0.127
27 N32 Z-7.346
28 N33 X10.2 Z-7.677
29 N34 Z-93.155
30 N35 X11.3
31 N36 X13.3 Z-92.155
32 N37 G0 X12.8
33 N38 Z-1.045
34 N39 X31.6
35 N40 Z5.
36 N41 G97 S921 M3
37
38 N42 M9
39 N43 M33
40 N44 G53 X0.
41 N45 G53 Z0.
42 N46 M30
```

Розгорткування отвору



Симуляція операції підрізання торця



Симуляція операції фрезерування обниження під посадку головки